



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

TEMA: “ENTORNO INMERSIVO PARA EL ENTRENAMIENTO DE OPERACIÓN DE ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA Y SISTEMA CONTRA INCENDIO”

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero
Electromecánico

Autores:

Carlos Daniel Iza Toapanta

Carlos Israel Vaca Condorcana

Tutor:

Ing. M. Sc. Luigi Orlando Freire Martínez

LATACUNGA – ECUADOR

MARZO 2021



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Iza Toapanta Carlos Daniel** portador del número de cedula **050342339-4**, **Vaca Condorcana Carlos Israel** portador del número de cedula **050376658-6** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “**ENTORNO INMERSIVO PARA EL ENTRENAMIENTO DE OPERACIÓN DE ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA Y SISTEMA CONTRA INCENDIO**” siendo el Ing. M. Sc. Luigi Orlando Freire Martínez, Tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

.....

Iza Toapanta Carlos Daniel

C.I. 050342339-4

.....

Vaca Condorcana Carlos Israel

C.I. 050376658-6



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el título:

“ENTORNO INMERSIVO PARA EL ENTRENAMIENTO DE OPERACIÓN DE ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA Y SISTEMA CONTRA INCENDIO”, de Iza Toapanta Carlos Daniel y Vaca Condorcana Carlos Israel, de la carrera en Ingeniería 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 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, marzo del 2021

.....

Ing. M. Sc. Luigi Orlando Freire Martínez

C.I: 050252958-9



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Propuesta Tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Iza Toapanta Carlos Daniel y Vaca Condorcana Carlos Israel con el título de Proyecto de titulación: **“ENTORNO INMERSIVO PARA EL ENTRENAMIENTO DE OPERACIÓN DE ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA Y SISTEMA CONTRA INCENDIO”** 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, marzo del 2021

Para constancia firman:

.....
Lector 1 (Presidente)
Ing. Edwin Homero Moreano Martínez
CC: 050260750-0

.....
Lector 2
Ing. Segundo Ángel Cevallos Betún
CC: 050178243-7

.....
Lector 3
Ing. Luis Rolando Cruz Panchi
CC:050259517-6



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: “**ENTORNO INMERSIVO PARA EL ENTRENAMIENTO DE OPERACIÓN DE ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA Y SISTEMA CONTRA INCENDIO**”, de los estudiantes; **IZA TOAPANTA CARLOS DANIEL** y **VACA CONDORCANA CARLOS ISRAEL** realizan la entrega de una tarjeta de adquisición de datos, 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, marzo 2021

.....
DIRECTOR DE LA CARRERA
Ing. Mauro Darío Albarracín Álvarez
C.C. 050311373-0



AGRADECIMIENTO

Un sincero y enorme agradecimiento a Dios quien me dio la vida e iluminarme en todo este trayecto de vida.

A mis familiares y amigos por su cariño y comprensión en los momentos más difíciles de mi vida en especial a mis padres y hermanos quienes son el pilar fundamental de mi vida de igual manera un fraterno reconocimiento a esta noble institución por abrirme las puertas para prepararme como profesional; al personal docente quienes supieron depositar su conocimiento en mí, en especial al Ing. Luigi Freire quien supo guiarme y asesorarme en este proyecto de titulación con mucho profesionalismo y paciencia y finalmente a mi compañero de tesis Carlos.

Carlos Daniel



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme guiado y dado fuerza para lograr mis objetivos, a mí querida madre Hilda que con su apoyo, amor, esfuerzo y sacrificio he logrado cumplir la meta que nos propusimos.

A mi padre Fausto y su familia por su apoyo brindado.

A Nataly por compartir conmigo alegrías, fracasos y por apoyarme durante este arduo camino. A mi pequeño hijo Elián que con su sonrisa me motivo a esforzarme, superarme y no rendirme.

Al Ingeniero Luigi Freire por su guía y asesoramiento en el desarrollo de este proyecto.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi y la carrera Ingeniería Electromecánica por permitir formarme profesionalmente.

A mi compañero de tesis Daniel por su gran aporte a nuestro proyecto de titulación.

Carlos Israel



DEDICATORIA

Este trabajo, producto de mi esfuerzo y sacrificio, se lo dedico a mis padres Carlos y María quienes siempre han sido mi mayor apoyo, compañía que me han educado con su amor, paciencia, virtud e inculcando los más valiosos valores para poder llegar a culminar esta gran etapa de mi vida.

A mi hermano Alex quien ha sido mi primer amigo en mi vida y me ha sabido apoyar de la mejor manera cada día, a mi hermanito Esteban quien con sus travesuras y ocurrencias alegra mi vida.

A mis abuelos María Elena Toapanta, María Piedad Sango y Ángel Iza que siempre me ayudado con sus consejos y su experiencia.

A mis tías Narcisa y Patricia quienes me han brindado su cariño y apoyo para cumplir esta meta. A todos mis tíos y tías quienes han sido unas excepcionales personas conmigo. Finalmente a todas mis primas y primos a quienes los he considerado como hermanos que han sabido apoyarme el día a día aportando con un granito de área.

Carlos Daniel



Ingeniería
Electromecánica

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi hijo Elián quien ha sido el eje principal de mi esfuerzo y dedicación, a mí amada Nataly quien con su apoyo incondicional ha hecho posible culminar mi carrera profesional.

A mi mami Hilda quien me apoya incondicionalmente, me guio a ser una mejor persona y me enseñó a no rendirme ante ningún obstáculo, a mi hermano Édison por apoyarme para seguir adelante.

A mi abuelita Zoila, mi tía Beatriz y mi prima Johana quienes siempre me han apoyado y formado a ser una persona de bien.

Carlos Israel

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	i
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iii
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA.....	vii
ÍNDICE.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xviii
1. INFORMACIÓN BÁSICA	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	2
2.1. Título de la propuesta tecnológica.....	2
2.2. Tipo de alcance.....	2
2.3. Área de conocimiento.....	2
2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica.....	2
2.5. Objeto de estudio y campo de acción	3
2.5.1. Objeto de estudio.....	3
2.5.2. Campo de acción	3
2.6. Situación problemática y problema	3
2.6.1. Situación problemática	3
2.6.2. Problema.....	4
2.7. Hipótesis o formulación de pregunta científica.....	4
2.7.1. Declaración de variables.....	4
2.7.2. Variable independiente	4
2.7.3. Variable dependiente	4
2.8. Objetivo(s).....	5

2.8.1. Objetivo general	5
2.8.2. Objetivo específicos	5
2.9. Descripción de las actividades y tareas propuesta con los objetivos relacionados	6
3. MARCO TEÓRICO	8
3.1. Análisis de trabajos precedentes.....	8
3.2. Normativa Aplicada.....	9
3.3. Fundamentación teórica.....	10
3.4. Software de diseño	10
3.5. Estaciones de bombeo de agua	10
3.5.1. Bombas centrifugas horizontales.....	11
3.5.2. Bombas centrifugas verticales	12
3.5.3. Bombas sumergibles.....	12
3.6. Motores.....	13
3.6.1. Motores eléctricos.....	13
3.6.2. Motores de combustión interna	13
3.7. Sistema contra incendio.....	14
3.7.1. Sistemas básicos contra incendios	14
3.7.2. Componentes de un sistema contra incendio.....	14
3.7.3. Determinación de las tuberías del sistema.....	16
3.7.4. Tuberías y accesorios de succión	16
3.7.5. Tuberías y accesorios de impulsión.....	17
3.8. Automatización.....	18
3.8.1. Control automático de procesos	19
3.9. Tarjeta de adquisición de datos	19
3.9.1. Microcontrolador arduino.....	19
3.10. Motores gráficos	20
3.10.1. Unity 3D	20

3.10.2. El controlador de personajes (Character Controller).....	21
3.11. Hardware In the Loop (HIL)	22
3.12. Realidad Virtual.....	23
3.12.1. Elementos de la realidad virtual	23
3.12.2. Arquitectura de la realidad virtual	24
3.12.3. Tipos de realidad virtual	25
3.12.4. Dispositivos empleados en realidad virtual	26
3.13. Dispositivos periféricos de realidad virtual (Oculus Rift).....	26
4. METODOLOGÍA.....	28
4.1. Desarrollo del programa	29
4.2. Creación del modelo 3D	30
4.2.1. Diseño de la estación de bombeo de agua y sistema contra incendio	31
4.3. Creación del entorno virtual	32
4.3.1. Importación del diseño CAD.....	32
4.3.2. Configuración de puntos de rotación.....	33
4.4. Desarrollo de la virtualización del entorno	34
4.4.1. Asignación de materiales, texturas e iluminación en la plataforma Unity3D	34
4.4.2. Sonido de bombas en Unity3D	35
4.4.3. Implementación del HMI.....	35
4.4.4. Sistemas de partículas de fuego y agua	36
4.4.5. Integración de señalización y símbolos de seguridad en el entorno virtual	37
4.4.6. Configuración de los tableros de control.....	39
4.4.7. Configuración de puntos de colisión	40
4.4.8. Configuración del jugador en primera persona	41
4.4.9. Comportamiento de la planta.....	42
4.5. Integración del dispositivo Oculus Rift en Unity3D	44
4.6. Comunicación entre Unity3D y tarjeta de adquisición de datos.	45

4.6.1. Señales digitales y analógicas.....	46
4.6.2. Control con PLC.....	48
4.6.3. Variables para conexión con PLC.....	49
4.6.4. Sintonización de curvas de respuesta PID.....	50
4.7. Generación del ejecutable.....	52
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	53
5.1. Análisis de resultados.....	53
5.1.1. Procedimiento para la operación del proceso.....	53
5.1.2. Características de la respuesta del sistema sometido al jugador en primera persona.....	56
5.1.3. Características de la respuesta del sistema sometido a las gafas de inmersión.....	60
5.1.4. Características de la respuesta del sistema sometido a mantenimiento o fallas de bombas.....	67
5.1.5. Característica para la selección del controlador externo.....	70
5.2. Discusión de resultados.....	70
5.2.1. Diseño y ensamble virtual de entorno inmersivo.....	71
5.2.2. Instalación de plataformas de realidad virtual.....	71
6. PROSUPUESTO.....	72
6.1. Presupuesto.....	72
6.1.1. Directos.....	72
6.1.2. Indirectos.....	72
6.1.3. Costos totales.....	73
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
7.1. Conclusiones.....	74
7.2. Recomendaciones.....	75
8. BIBLIOGRAFÍA.....	76
ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Actividades y tareas propuestas.....	6
Tabla 3.1. Clasificación de fluidos.	16
Tabla 3.2. Funciones de Unity.....	21
Tabla 3.3. Propiedades del controlador del personaje.	22
Tabla 3.4. Dispositivos empleados en la realidad virtual.	26
Tabla 4.1. Salidas digitales de la tarjeta de adquisición de datos.	47
Tabla 4.2. Entradas digitales de la tarjeta de adquisición de datos.	47
Tabla 4.3. Entradas y salidas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos.	47
Tabla 4.4. Módulo de entradas digitales.....	49
Tabla 4.5. Módulo de salidas digitales.	49
Tabla 4.6. Módulo de entradas y salidas digitales.	50
Tabla 4.7. Constantes obtenidas para el proceso Nivel.	51
Tabla 6.1. Materiales.	72
Tabla 6.2. Costo de mano de obra.	72
Tabla 6.3. Costos indirectos.	72
Tabla 6.4. Costos totales.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Bombas centrifugas de eje horizontal.	11
Figura 3.2. Bombas centrifugas de eje vertical.	12
Figura 3.3. Bombas sumergibles.	13
Figura 3.4. Pirámide de automatización.	18
Figura 3.5. Triangulo de los elementos de la realidad virtual.	23
Figura 3.6. Arquitectura de la realidad virtual.....	24
Figura 4.1. Diagrama de proceso.....	29
Figura 4.2. Esquema general del proyecto.	30
Figura 4.3. Diseño preliminar del modelo 3D del entorno.....	31
Figura 4.4. Diseño del sistema de bombeo y sistema contra incendio.	32
Figura 4.5. Exportación del diseño del sistema en FBX.	33
Figura 4.6. Punto de rotación.....	34
Figura 4.7. Asignación de materiales y texturas.....	35
Figura 4.8. Animación y sonido de las bombas.....	35
Figura 4.9. HMI implementado en el sistema.	36
Figura 4.10. Sistema de partículas de fuego.....	37
Figura 4.11. Sistema de partículas de rociadores de agua.	37
Figura 4.12. Extintores.	38
Figura 4.13. Señalización de salidas de emergencia.	38
Figura 4.14. Plano de evacuación del sistema diseñado.....	39
Figura 4.15. Botones del tablero de control.....	40
Figura 4.16. Configuración de puntos de colisión en objetos.	41
Figura 4.17. Objeto “Player” para el desplazamiento dentro del entorno.	42
Figura 4.18. Pantalla de control del sistema.....	43
Figura 4.19. Página para descargar el software Oculus Rift.	45
Figura 4.20. a) Acondicionamiento de señales analógicas.....	46
Figura 4.21. Diseño de tarjeta de adquisición de datos.	48
Figura 4.22. Ventana de creación del ejecutable.....	52
Figura 5.1. Espacio para ingresar puerto COM de comunicación.....	53
Figura 5.2. Botón para inicio al sistema.	54
Figura 5.3. Selección del SetPoint para nivel del tanque.	54
Figura 5.4. Teclas de accionamiento y movimiento.....	55
Figura 5.5. Instrucciones de las teclas.	55
Figura 5.6. Controles Touch.	56
Figura 5.7. Visualización en primera persona de la estación de bombeo.....	57
Figura 5.8. Visualización en primera persona del cuarto de bombas.....	57
Figura 5.9. Visualización en primera persona del llenado del tanque.....	58
Figura 5.10. HMI de tendencias incorporado al sistema.	59
Figura 5.11. Visualización en primera persona de curvas de respuesta del control P&ID.	59
Figura 5.12. Visualización en primera persona del sistema contra incendio.	60
Figura 5.13. Interacción del usuario con el entorno inmersivo.	61
Figura 5.14. Integración del Oculus Rift S con el sistema de bombeo de agua.....	62
Figura 5.15. Visualización de la integración del Oculus Rift S con el tanque del sistema.	63
Figura 5.16. Interacción del usuario con el HMI de tendencias.....	64
Figura 5.17. Visualización de las tendencias de respuesta del control P&ID.	65
Figura 5.18. Interacción del usuario y tableros de control del sistema.	66
Figura 5.19. Interacción del usuario y tableros de control del sistema.	66
Figura 5.20. Visualización de la integración del Oculus Rift con el sistema funcional.....	67

Figura 5.21. Simulación de incendio en zona 1.....	68
Figura 5.22. Funcionamiento de bomba 1 en zona 1.....	68
Figura 5.23. Bomba 1 en falla recompensa bomba 2 en zona de incendio 1.	68
Figura 5.24. Simulación de incendio en zona 2.....	69
Figura 5.25. Funcionamiento de bomba 2 en zona 2.....	69
Figura 5.26. Bomba 2 en falla recompensa bomba 1 en zona de incendio 2.	70



Ingeniería
Electromecánica

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “ENTORNO INMERSIVO PARA EL ENTRENAMIENTO DE OPERACIÓN DE ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA Y SISTEMA CONTRA INCENDIO”

Autores:

Iza Toapanta Carlos Daniel

Vaca Condorcana Carlos Israel

RESUMEN

El presente proyecto se ha desarrollado con el objetivo de crear un simulador de realidad virtual 3D con capacidad de inmersión para el entrenamiento en el área de automatización convirtiéndose en una solución de capacitación en el monitoreo, control y operación de una estación de bombeo de agua y sistema contra incendios disminuyendo el costo de implementación y riesgo.

Se generaron modelos y planos con un software de diseño para el levantamiento de la infraestructura industrial del entorno virtual y el sistema a emular, que con el uso del motor gráfico Unity3D se desarrolla un mayor detalle de realismo mediante la virtualización de los elementos implicados en el proceso. Este motor gráfico genera animaciones que permite el monitoreo, regulación y automatización de la estación de bombeo de agua y sistema contra incendio desde el entorno virtual implementado con el objetivo de ejecutar procesos de entrenamiento operativo, dicho sistema permite al operador tener una interacción con controles de procesos de una manera realista e interactiva. Además este motor gráfico permite la integración de dispositivos externos con la plataforma recreando sensaciones que al operador le sitúe en el sitio remoto a través de sus sensores integrados. Se realizó el interfaz de dispositivos periféricos como son las gafas de realidad virtual Oculus Rift que permite la interacción e inmersión entre el usuario y el ambiente virtual para complementar la experiencia de aprendizaje. Dentro del entorno inmersivo el operador puede ver el estado del proceso y las acciones que se genera a través de los objetos e instrumentos virtuales creados en el entorno 3D.

Palabras claves: Realidad virtual, entorno inmersivo, dispositivos periféricos.



TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: "IMMERSIVE ENVIRONMENT FOR THE OPERATION TRAINING OF WATER PUMPING STATION AND FIRE FIGHTING SYSTEM"

Authors:

Iza Toapanta Carlos Daniel

Vaca Condorcana Carlos Israel

ABSTRACT

This project has been developed with the aim of creating a 3D virtual reality simulator with immersion capacity for training in the automation area, becoming a training solution in the monitoring, control and operation of a water pumping station and fire system reducing the cost of implementation and risk.

Models and plans were generated with a design software for the lifting of the industrial infrastructure of the virtual environment and the system to emulate, which with the use of the Unity3D graphic engine develops a greater detail of realism through the virtualization of the elements involved in the process. This graphic engine generates animations that allows the monitoring, regulation and automation of the water pumping station and fire fighting system from the virtual environment implemented with the aim of executing operational training processes, said system allows the operator to have an interaction with controls of processes in a realistic and interactive way. Furthermore, this graphic engine allows the integration of external devices with the platform, recreating sensations that the operator places at the remote site through its integrated sensors. The interface of peripheral devices such as the Oculus Rift virtual reality glasses was made, which allows interaction and immersion between the user and the virtual environment to complement the learning experience. Within the immersive environment, the operator can see the status of the process and the actions generated through the virtual objects and instruments created in the 3D environment.

Keywords: Virtual reality, immersive environment, peripheral devices.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

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 del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS: IZA TOAPANTA CARLOS DANIEL** y **VACA CONDORCANA CARLOS ISRAEL**, cuyo título versa **“ENTORNO INMERSIVO PARA EL ENTRENAMIENTO DE OPERACIÓN DE ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA Y SISTEMA CONTRA INCENDIO”**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, marzo del 2021

Atentamente, 01 - 1995

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS

Mg. C Nelson Wilfrido Guagchinga Chicaiza.

C.C: 050324641-5



CENTRO
DE IDIOMAS

1. INFORMACIÓN BÁSICA

Propuesto por:

Carlos Daniel Iza Toapanta

Carlos Israel Vaca Condorcana

Tema aprobado:

Entorno inmersivo para el entrenamiento de operación de estación de bombeo de agua y sistema contra incendio.

Carrera:

Ingeniería en Electromecánica

Director de la propuesta tecnológica:

Ing. Ms.C. Luigi Orlando Freire Martínez

Equipo de trabajo:

Carlos Daniel Iza Toapanta

Carlos Israel Vaca Condorcana

Ing. M. Sc. Luigi Orlando Freire Martínez

Lugar de ejecución:

Universidad Técnica de Cotopaxi

Carrera Ingeniería Electromecánica

Laboratorio de automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

Tiempo de duración de la propuesta:

Periodo académico Noviembre 2020 – Marzo 2021

Fecha de entrega:

Marzo 2021

Líneas y sublíneas de investigación a las que se asocia la propuesta tecnológica:

Línea de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi:

Procesos industriales

Sub línea de investigación de la carrera:

Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

Tipo de propuesta tecnológica:

Tecnología, innovación.

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1. Título de la propuesta tecnológica

“Entorno inmersivo para el entrenamiento de operación de estación de bombeo de agua y sistema contra incendio”.

2.2. Tipo de alcance

Desarrollo: Se propone realizar un entorno inmersivo para el entrenamiento de operación de estación de bombeo de agua y sistema contra incendio en un entorno virtual realista.

2.3. Área de conocimiento

Ingeniería, Industria y Construcción, la subárea de conocimiento Ingeniería y Profesiones Afines, en el campo detallado Electrónica y Automatización.

2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica

La presente propuesta tecnológica está encaminado en ser una alternativa en simulación de procesos, entrenamiento y control de operación de un entorno virtual de una estación de bombeo de agua y sistema contra. La necesidad de desarrollar el presente proyecto se debe a que el avance tecnológico a nivel industrial ha permitido que los operadores realicen entrenamientos de tipo virtuales, simulaciones logrando perfeccionar las actividades diarias y de esa manera resolver los inconvenientes técnicos que se producen en un proceso a nivel industrial. Las simulaciones en ambientes virtuales han permitido al operador situar en escenarios de desarrollo práctico a los que en la realidad sería de difícil acceso y control, de esta manera permitirá establecer un grado mayor de equidad en el proceso de operar. La utilización de las nuevas tecnologías brinda al usuario la posibilidad de crear un entorno interactivo dotado de imágenes de escenarios, simulaciones que promueve la generación de módulos virtuales para el entrenamiento de estudiantes y profesionales en universidades, compañías industriales con la participación de plataformas de realidad virtual. El propósito del entrenamiento de operación virtual está en proporcionar una herramienta atractiva,

realista con el fin de facilitar un entorno seguro con la interacción de los instrumentos, sistemas, monitoreo de cada proceso.

2.5. Objeto de estudio y campo de acción

2.5.1. Objeto de estudio

Diseño de un sistema inmersivo de bombeo de agua y sistema contra incendio.

2.5.2. Campo de acción

Entrenamiento de operación del sistema.

2.6. Situación problemática y problema

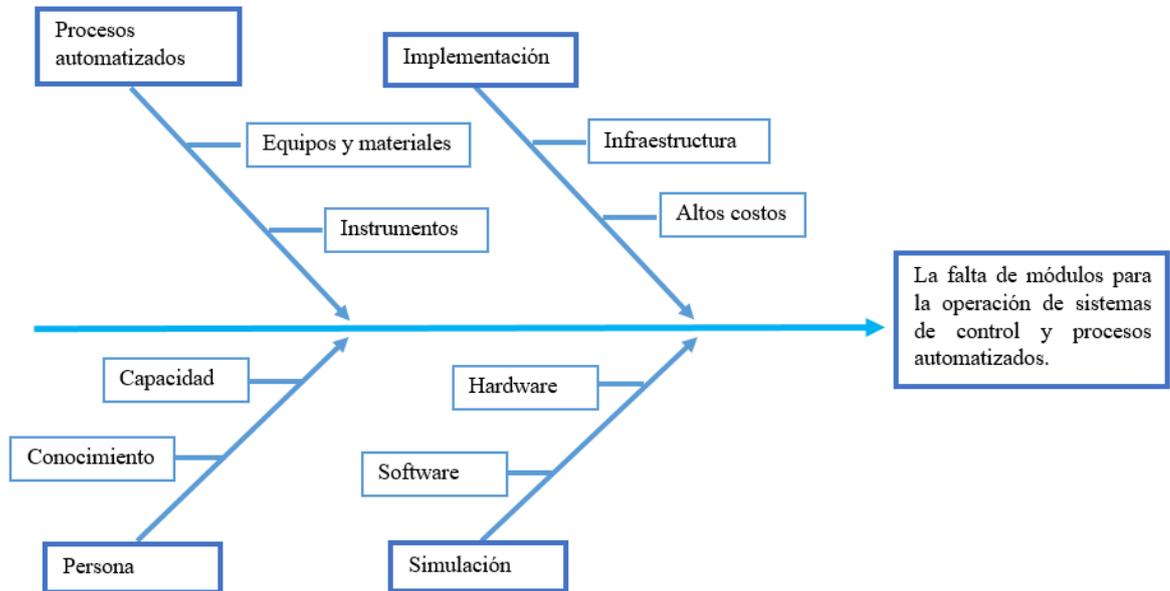
2.6.1. Situación problemática

La falta de procesos industriales simulados en entornos virtuales crea limitaciones de conocimiento de los usuarios, en la actualidad la integración de tecnologías de realidad virtual en sistemas de entrenamiento de control de procesos ha marcado un camino exitoso dentro de la automatización industrial, de esa manera al poder utilizar un entorno virtual realista permite al operador interactuar con diferentes procesos ingresando al sistema las veces que sean necesarias sin temer a limitaciones en las mismas.

Tras el desarrollo de este proyecto se podrá determinar que al interactuar los usuarios con un entorno virtual de una estación de bombeo y sistema contra incendio se obtendrá simulaciones de procesos automatizados que facilitan la interacción del usuario con el entorno industrial, mediante movimientos, acciones sensoriales, y de esa forma se evitará la implementación de módulos reales a costos exagerados.

El desarrollo tecnológico y el crecimiento de procesos industriales obliga la creación de sistemas con simulación de diversas áreas de producción de una empresa, bajo este sentido la creación del “entorno inmersivo para el entrenamiento de operación de estación de bombeo y sistemas contra incendio” será el aporte científico y tecnológico que se otorgará hacia los usuarios para el entrenamiento en control y mantenimiento en procesos industriales.

2.6.2. Problema



La inexistencia de módulos físicos de estaciones de bombeo de agua y sistemas contra incendios, limita la realización de entrenamiento de operación y control del proceso automatizado.

2.7. Hipótesis o formulación de pregunta científica

El desarrollo de un entorno inmersivo en base a realidad virtual, permitirá simular el proceso automatizado de operación de la estación de bombeo de agua y sistema contra incendio.

2.7.1. Declaración de variables

2.7.2. Variable independiente

Entorno inmersivo en base a realidad virtual

2.7.3. Variable dependiente

La simulación del proceso de operación de la estación de bombeo de agua y sistema contra incendio.

2.8. Objetivo(s)

2.8.1. Objetivo general

Desarrollar un entorno inmersivo 3D mediante la interacción usuario – entorno virtual con la ejecución de procesos de entrenamiento de control en estaciones de bombeo y sistemas contra incendio.

2.8.2. Objetivo específicos

- Investigar acerca de estaciones de bombeo de agua, sistemas contra incendio y plataformas de realidad virtual para la interacción con el entorno inmersivo virtual.
- Diseñar el entorno industrial de la estación de bombeo de agua y sistema contra incendio, mediante el software de modelación CAD.
- Desarrollar un entorno de inmersión en base a la virtualización en 3D de la estación de bombeo y sistema contra incendio utilizando el motor gráfico Unity3D para la simulación del proceso.
- Evaluar el entorno inmersivo mediante pruebas de funcionalidad con dispositivos de inmersión, controladores externos para la correcta interacción y control en el sistema.

2.9. Descripción de las actividades y tareas propuesta con los objetivos relacionados

Tabla 2.1. Actividades y tareas propuestas.

Objetivo	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnica e instrumentos)
Investigar acerca de estaciones de bombeo de agua, sistemas contra incendio y plataformas de realidad virtual para la interacción con el entorno inmersivo virtual.	Recopilación de información en diferentes trabajos precedentes.	Información de los conceptos necesarios para la fundamentación teórica.	Datos bibliográficos de diferentes páginas de libros, revistas, artículos relacionados con el tema.
	Análisis de estaciones de bombeo de agua y sistemas contra incendio	Conocimiento de componentes y accesorios de estaciones de bombeo de agua y sistemas contra incendio.	Obtención del diseño preliminar de la estación de bombeo de agua y sistema contra incendio.
	Análisis de las plataformas de realidad virtual.	Conocimiento de plataformas virtuales realistas.	Interacción de procesos industriales con entornos inmersivos.
Diseñar el entorno industrial de la estación de bombeo de agua y sistema contra incendio, mediante el software de modelación CAD.	Análisis de los diferentes tipos de software de diseño.	Interacción con el software AutoCAD Plant 3D.	Interacción con el menú de las secciones principales del software.
	Desarrollo del diseño del sistema con los diferentes componentes y accesorios.	Diseño del entorno industrial para la estación de bombeo y sistema contra incendio.	Desarrollo del diseño en el software AutoCAD Plant 3D.
	Obtención del diseño final para la exportación a virtualización 3D.	Diseño final transformado en formato fbx.	Exportar el diseño en formato (fbx) para la creación de la escena en el software Unity3D.
Desarrollar un entorno de inmersión en base a la virtualización en 3D de la estación de bombeo y sistema contra incendio utilizando el motor gráfico Unity3D para la simulación del proceso.	Análisis de la interacción con el entorno virtual.	Conocimiento del entorno virtual realista.	Análisis de plataformas de realidad virtual (Unity3D)
	Asignación de materiales y texturas en la plataforma Unity3D.	Obtención del sistema en base a la virtualización en 3D.	Se obtiene un sistema asemejado a un proceso industrial real.

	Programación de animación, movimientos, sonidos y avatars en el entorno.	Obtención de un sistema realista.	Se obtiene la interacción con el sistema.
Evaluar el entorno inmersivo mediante pruebas de funcionalidad con dispositivos de inmersión, controladores externos para la correcta interacción y control en el sistema.	Análisis de la interacción del motor gráfico Unity 3D con la estación de bombeo.	Ejecutar tareas de entrenamiento operativo en sistemas de bombeo.	Simulación de la estación de bombeo de agua en un entorno virtual realista, mediante el ejecutable del Unity3D.
	Análisis de la interacción del motor gráfico Unity 3D y el sistema contra incendio.	Ejecutar tareas de entrenamiento operativo en sistemas contra incendio.	Simulación del sistema contra incendio en un entorno virtual realista, mediante el ejecutable del Unity3D.
	Simulación y pruebas de funcionamiento.	Ejecutar pruebas de funcionamiento en el entorno virtual realista.	Simulación del proceso en un entorno inmersivo mediante gafas de realidad virtual y controladores externos.

Fuente: Autores.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Análisis de trabajos precedentes

- Mediante una herramienta tecnológica para la asistencia de procesos de los operadores en la industria. Se desarrolló una aplicación de la realidad aumentada que facilita la identificación del equipo e instrumentos, concediendo la gestión y la visualización de las partes constitutivas de los elementos del proceso. Además, su desarrollo se centra en el reconocimiento de equipos a través de un teléfono inteligente para detectar puntos característicos de objetos y reconocimiento de imágenes, modelado 3D a través del software CAD e incorporación de animaciones y modelado matemático de procesos industriales en una plataforma múltiple. Los resultados del presente artículo realizado permiten a los usuarios manipular y visualizar elementos de procesos además ayuda al desarrollo de habilidades en el manejo de los procesos industriales que permite el control por regulación sin necesidad de realizar acciones adicionales en el proceso físico. [1]
- La realidad virtual (VR) es una herramienta poderosa para probar y evaluar nuevos productos e ideas en los procesos de fabricación, además se ha sumergido completamente al usuario en una simulación experimental en la creación rápida de prototipos, fabricación. [2]
- Dentro del campo de la ingeniería de software los juegos de simulación están ganando interés entre los investigadores académicos y profesionales y de esa forma en el presente artículo describe un enfoque para crear modelos de simulación educativa derivado de las experiencias académicas e industriales con fines educativos. [3]
- El desarrollo de una plataforma de realidad virtual 3D con capacidad de inmersión que emula el ambiente y las operaciones de las trampas de lanzamiento y recepción de raspadores de tubería (PIG), se desarrolló con el fin de reforzar la capacitación de los operadores de la industria petrolera. Para la realización de esta investigación el investigador recopiló manuales de equipos, procedimientos, especificaciones técnicas, fotografías, P&IDs y de esta información se modela planos digitales 3D (CAD), y como final del proceso con ayuda del motor gráfico Unity 3D se realiza la virtualización de los elementos involucrados en dicho proceso. [4]
- El desarrollo de una plataforma integrada de software y hardware para el control de subestaciones eléctricas mediante un entorno virtual. En el desarrollo de este artículo se

verifica que cada subestación eléctrica 3D está integrada al centro de supervisión para la adquisición de datos y control de una compañía de energía eléctrica real. [5]

- En el desarrollo del proyecto de un sistema de control en cascada para la variable nivel los investigadores desarrollan un control de procesos mediante un entorno de realidad virtual. Dichos investigadores concluyen que el entorno virtual brinda realismo y transparencia del proceso cuando el monitoreo y control es realizado desde el mismo, además es utilizado para el desarrollo del aprendizaje en estudiantes. [6]
- Mediante el esquema de tele-operación el operador está inmerso en un entorno de realidad aumentada y permite al mismo ejecutar tareas destinadas con el modelado 3D en entornos remotos. [7]
- La animación de robots en entornos de realidad virtual se basa en principios mecánicos y la unidad de control, mediante la transferencia del diseño en CAD de un robot a un entorno de simulación virtual permite realizar simulaciones de movimientos en un entorno establecido. [8]

3.2. Normativa Aplicada

Para el entrenamiento de operación del entorno inmersivo de una estación de bombeo y sistema contra incendio, se utilizará las siguientes normativas:

NEC-SE-AC.- Esta normativa corresponde al diseño de estructuras.

Norma CO10.7 – 602.- Esta normativa detalla los requerimientos para el diseño de una estación de bombeo de agua.

NTE INEN 440:1984.- Esta normativa corresponde a los colores de identificación de tuberías.

NTE INEN-ISO 3864-1:2013.- Esta normativa detalla los requerimientos de colores, señales, y símbolos de seguridad.

NEC-HS-CI.- Esta normativa hace énfasis a los requerimientos mínimos para protecciones contra incendios en ocupaciones industriales.

NORMA ISA S88. Esta normativa detalla los requerimientos para construir diagramas de tuberías e instrumentación (P&ID).

3.3. Fundamentación teórica

El entorno inmersivo para el entrenamiento de operación que se propone requiere de varios elementos para su simulación como: diseño de estación de bombeo y sistema contra incendios (CAD), conceptos teóricos de protección contra incendios, control y simulación, motores gráficos de realidad virtual. Las especificaciones de cada elemento necesario en esta investigación se describen a continuación:

3.4. Software de diseño

Dentro del diseño de plantas industriales, Autodesk al ser una compañía dedica a realizar software de diseños permite la integración de las diferentes disciplinas en el diseño 3D. Para el área de ingeniería de diseño se encuentra el software AutoCAD Plant 3D que es utilizado para la generación de P&ID, equipos y materiales de tuberías e instrumentos y planos de gran calidad, además cuenta con varios diseños predefinidas de componentes existente en plantas industriales que optimiza el proceso de diseño y documentación de procesos de plantas. [9]

3.5. Estaciones de bombeo de agua

Las estaciones de bombeo son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución. [10]

Los elementos básicos de las estaciones de bombeo son los siguientes:

- Caseta de bombeo
- Fuente de abastecimiento
- Equipo de bombeo
- Tubería de succión
- Tubería de impulsión
- Válvulas de regulación y control
- Tableros y sistemas de control
- Área para operadores

Según el artículo de revista “Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable” La ubicación de la estación de bombeo debe ser seleccionada de tal manera que permita un funcionamiento seguro y continuo. [10]

Para lo cual se tendrá en cuenta los siguientes factores:

- Fácil acceso en las etapas de construcción, operación y mantenimiento.
- Protección de la calidad del agua de fuentes contaminantes.
- Protección de inundaciones, deslizamientos, huaycos y crecidas de ríos.
- Eficiencia hidráulica del sistema de impulsión o distribución.
- Disponibilidad de energía eléctrica, de combustión u otro tipo.
- Topografía del terreno.

Dentro del equipo de bombeo de agua, entre sus partes principales incluye las bombas de uso contra incendios y el motor que acciona a la misma, para lo cual existen diferentes tipos de bombas que se detalla a continuación:

3.5.1. Bombas centrifugas horizontales

Son equipos que tienen el eje de transmisión de la bomba en forma horizontal. Tienen la ventaja de poder ser instaladas en un lugar distinto de la fuente de abastecimiento, lo cual permite ubicarlas en lugares secos, protegidos de inundaciones, ventilados, de fácil acceso, etc. Este tipo de bomba se debe emplear en cisternas, fuentes superficiales y embalses. Por su facilidad de operación y mantenimiento es apropiado para el medio rural. Su bajo costo de operación y mantenimiento es una ventaja adicional. [10]

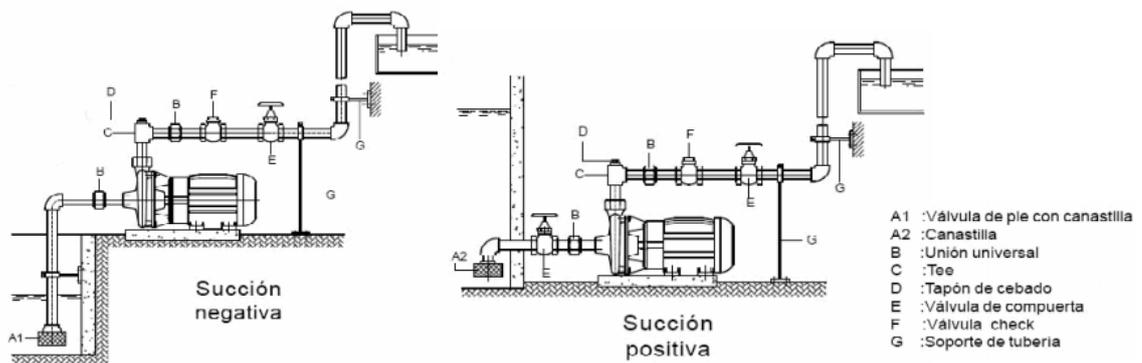


Figura 3.1. Bombas centrifugas de eje horizontal.

Fuente: [10]

De acuerdo a la Figura 3.1. Las bombas centrifugas de eje horizontal, se pueden clasificar de acuerdo a la posición del eje de la bomba con respecto al nivel del agua en la cisterna de bombeo, en bombas de succión positiva y bombas de succión negativa. Si la posición del eje está sobre la superficie del agua, la succión es positiva y en la situación inversa la succión es negativa. [10]

3.5.2. Bombas centrifugas verticales

Son equipos que tienen el eje transmisión de la bomba en forma vertical sobre el cual se apoya un determinado número de impulsores que elevan el agua por etapas. Deben ubicarse directamente sobre el punto de captación, por lo cual casi se limita su uso a pozos profundos. Estas bombas se construyen de diámetros pequeños, a fin de poder introducirlas en las perforaciones de los pozos, los cuales exigen diámetros pequeños por razones de costo. [10]

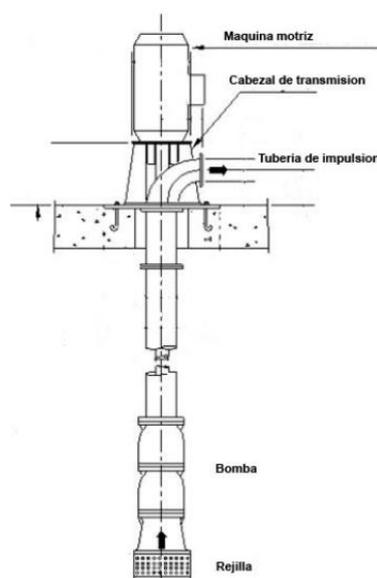


Figura 3.2. Bombas centrifugas de eje vertical.

Fuente: [10]

La ventaja principal de estos equipos es su versatilidad y su capacidad para trabajar en un amplio rango de velocidades. Entre sus desventajas están lo ruidosas que son y la estricta verticalidad que exige a los pozos para su instalación. [10]

3.5.3. Bombas sumergibles

Son equipos que tienen la bomba y motor acoplados en forma compacta, de modo que ambos funcionan sumergidos en el punto de captación; se emplean casi exclusivamente en pozos muy profundos, donde tienen ventajas frente al uso de bombas de eje vertical. [10]

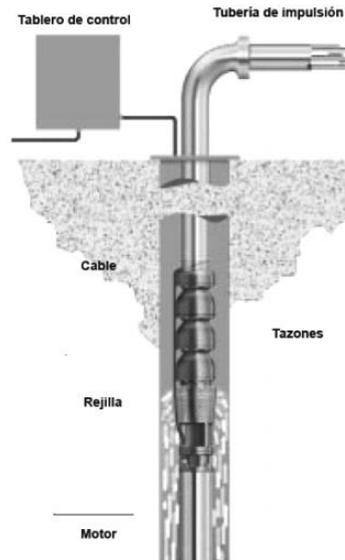


Figura 3.3. Bombas sumergibles.
Fuente: [10]

3.6. Motores

Para el sistema de bombeo los motores para las bombas se clasifican en dos grupos que son: eléctricos y de combustión.

3.6.1. Motores eléctricos

Los motores eléctricos utilizan la corriente eléctrica como fuente exterior de energía. Los más empleados en abastecimiento de agua son los de velocidad constante o los que tienen velocidad prácticamente constante. [10]

Es decir, se puede considerar únicamente los dos tipos siguientes:

- a. Motor síncrono de velocidad rigurosamente constante, dependiente del número de polos y al ciclaje o frecuencia de la línea de alimentación.
- b. Motor de inducción, es decir, asincrono con velocidad dependiente al valor de la carga.

3.6.2. Motores de combustión interna

La potencia es desarrollada al quemar el combustible dentro de los cilindros del motor. Se pueden emplear los motores diesel o de encendido por bujías, alimentados por gas natural o propano. En algunos casos se han instalado motores a gasolina, pero su uso no es recomendable por los problemas derivados del almacenamiento del combustible. Estos equipos tienen una velocidad de giro menor que los motores eléctricos, generalmente se encuentran entre 1700 a 2400 rpm. El empleo de estos motores es recomendable para el

accionamiento de bombas en lugares muy apartados en donde no se dispone de suministro eléctrico o este es muy poco fiable. [10]

3.7. Sistema contra incendio

Dentro de los sistemas contra incendios la prevención de incendios depende del diseño y operación de la planta a la que se requiera proteger, de tal forma se minimice los riesgos de una catástrofe, un sistema contra incendio incluye dispositivos, accesorios, equipos y controles para detectar el fuego o humo para hacer actuar una señal y suprimir el riesgo de fuego. El objetivo principal de sistemas contra incendios son el salvar vidas y minimizar las pérdidas económicas producidas por el fuego.

El sistema de suministro de agua de la planta, será la primera fuente que utilice la brigada contra incendios de la planta o el departamento de bomberos. El agua debe proporcionarse con el flujo y la presión necesarios para que se activen los sistemas de aspersores automáticos y para poder utilizar las mangueras contra incendios, además de los requisitos normales de la planta. [11]

3.7.1. Sistemas básicos contra incendios

Según su fabricación, tecnología, configuración, los sistemas de detección de incendios se clasifica en:

- Sistemas de detección de incendios convencionales.
- Sistemas de detección y alarma.
- Sistemas de rociadores automáticos.
- Sistemas con hidrantes.
- Sistemas con extintores.

El tipo más común en sistemas de protección contra incendios se basa en sistemas de rociadores automáticos, donde la tubería forma un circuito cerrado en forma de red y de esa manera minimizar las perdidas por fricción que sea posible dentro del sistema.

3.7.2. Componentes de un sistema contra incendio

El trabajo de investigación titulado “Diseño del sistema contra incendios de extinción y detección para la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, conforme a la norma NFPA y la NSR-10” manifiesta que pese a que la diversidad de los

sistemas contra incendio es muy amplia, hay componentes generales que son comunes a la mayoría de los sistemas. [12]

Entre ellos se encuentran:

- a. Una unidad propulsora del agente extinguidor, ya sea una bomba hidráulica, un propulsor, un proporcionador, etc.
- b. Boquillas, rociadores o tomas de agua (en el caso de mangueras) que sirven como medio para apuntar o esparcir a una zona específica el agente extinguidor.
- c. Recipientes de almacenamiento del agente extintor, tales como tanques, cilindros o canecas.
- δ. Drenajes para la rápida expulsión del agente extintor una vez que éste ha sido esparcido o para mantenimiento de los sistemas.
- e. Tuberías o conductos para transportar el agente hasta la zona de incendio
- f. Mecanismos para activar el disparo del agente extintor tales como bulbos de rociadores, módulos eléctricos, válvulas manuales o automáticas.
- g. Válvulas para el paso del fluido o elemento extintor y para labores de mantenimiento.

Los componentes de un sistema de rociadores automáticos en los que se establecerá son los siguientes:

- Ramales: Son líneas de tuberías en las que está ubicado los rociadores ya sea de forma directa o a través de niples ascendentes o descendientes.
- Tubería principal transversal: Son tuberías que alimenta a los ramales de los rociadores, ya sea de manera directamente o a través de tuberías ascendentes.
- Tubería principal de alimentación: Son tuberías que alimentan a la tubería principal transversal, ya sea a través de tuberías de alimentación vertical.
- Tallo del sistema: Es la tubería vertical u horizontal que está ubicado entre el suministro de agua y la tubería principal ya sea transversales o de alimentación que contiene válvula de control y dispositivos de sensor de presión de agua. [12]

Para la instalación de rociadores se establecen las siguientes medidas adicionales:

- Los rociadores deberán ubicarse a una distancia mínima de 4 pulgadas (102mm).

- La distancia mínima que debe haber entre rociadores será por lo menos de 6 pies (1.8m) medidos entre los centros de los mismos.
- El área de cobertura de un rociador no deberá ser mayor de 12 pies (3.7m), el espacio entre rociadores de un mismo ramal o entre ramales.

3.7.3. Determinación de las tuberías del sistema.

De acuerdo a la norma NTE INEN 440:1984, colores de identificación de fluidos. Los fluidos transportados por tuberías se dividen, según la

Tabla 3.1. Clasificación de fluidos.

Tabla 3.1. Clasificación de fluidos.

FLUIDO	CATEGORIA	COLOR
Agua	1	Verde
Vapor de agua	2	Gris-plata
Aire y oxígeno	3	Azul
Gases combustibles	4	Amarillo ocre
Gases no combustibles	5	Amarillo ocre
Ácidos	6	Anaranjado
Álcalis	7	Violeta
Líquidos combustibles	8	Café
Líquidos no combustibles	9	Negro
Vacío	0	Gris
Agua o vapor contra incendios.	-	Rojo de seguridad
GLP (Gas licuado de petróleo)	-	Blanco

Fuente: [13]

3.7.4. Tuberías y accesorios de succión

La tubería de succión debe ser la más corta posible, evitándose al máximo, piezas especiales como curvas, codos, etc. La tubería de succión debe ser siempre ascendente hasta alcanzar la bomba. Se pueden admitir pequeños tramos perfectamente horizontales. [12]

Entre otros aspectos que se debe considerar en el diseño de tubería de succión son los siguientes:

- a. En tuberías de succión verticales, las reducciones serán concéntricas.

- b. La tubería de succión generalmente tiene un diámetro comercial inmediatamente superior al de la tubería de descarga.
- c. En una tubería de succión con presión positiva debe instalarse una válvula de compuerta.
- d. En una tubería de succión que no trabaje con presión positiva debe instalarse una válvula de retención en su extremo inferior para evitar el cebado.
- e. Siempre que las diversas bombas tuvieran sus tuberías de succión conectadas a una tubería única (de mayor diámetro), las conexiones deberán ser hechas por medio de Y (uniones), evitándose el empleo de Tes.
- f. No deben ser instaladas curvas horizontales, codos o tes junto a la entrada de las bombas. [12]

3.7.5. Tuberías y accesorios de impulsión

El diámetro de la tubería de impulsión deberá ser determinado en base a un análisis técnico económico; teóricamente puede asumir cualquier valor; sin embargo, existe un valor para el cual cumple los criterios mencionados. El análisis debe considerar que si el diámetro adoptado es grande, la pérdida de carga en la tubería será pequeña y por tanto la potencia de la bomba será reducida; consecuentemente el costo de la bomba será reducido, pero el de la tubería de impulsión será elevado. El análisis inverso también es valedero, es decir, si adoptamos un diámetro pequeño, al final, el costo de la tubería de impulsión será reducido y el de la bomba será elevado. [12]

En el diseño y cálculo de tuberías de impulsión, además, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- a. Dotar al sistema de los dispositivos que aseguren los riesgos debido al fenómeno del golpe de ariete.
- b. A la salida de la bomba debe proyectarse una válvula de compuerta. Asimismo, debe considerarse la instalación de uniones flexibles para mitigar los efectos de vibración.
- c. En todo cambio de dirección debe considerarse elementos de anclaje y sujeción.
- d. El diámetro de las tuberías largas, debe ser calculado con velocidades relativamente bajas, generalmente entre 0,65 a 1,50 m/s.
- e. El diámetro de la tubería de impulsión, para distancias cortas, debe calcularse para velocidades mayores, que esté entre 1,50 a 2,00 m/s. [12]

3.8. Automatización

La automatización de los procesos productivos es uno de los aspectos que más ha evolucionado en la industria desde sus comienzos. La integración de tecnologías clásicas como la mecánica y la electricidad con otras más modernas (electrónica, informática, telecomunicaciones, etc.) está haciendo posible esta evolución. [14]

Pirámide de automatización



Figura 3.4. Pirámide de automatización.

Fuente: [14]

- El primer nivel o "nivel de campo" incluye los dispositivos físicos presentes en la industria, como los actuadores y sensores.
- El segundo nivel o "nivel de control" incluye los dispositivos controladores como ordenadores, PLCs, PIDs, etc.
- El "nivel de supervisión" (tercer nivel) corresponde a los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA).
- En un nivel superior o "nivel de planificación" se encuentran los sistemas de ejecución de la producción (MES).
- La cúspide de la pirámide ("nivel de gestión") la componen los sistemas de gestión integral de la empresa (ERP). [14]

3.8.1. Control automático de procesos

El sistema de control automático de procesos tiene como objetivo utilizar la variable que se va a manipular para mantener a la variable controlada en el punto de control a pesar de las perturbaciones.

Los procesos en los cuales está involucrado el control automático son de naturaleza dinámica es decir siempre ocurren cambios en ellos y si no se realizan acciones pertinentes o correctivas en las variables importantes del proceso, los índices de producción y calidad no cumplirán con el diseño establecido. [15]

Según la investigación de Smith C, Corripio A, el control automático de procesos existen cuatro componentes básicos que son:

- a. Sensor, que también se conoce como elemento primario.
- b. Transmisor, el cual se conoce como elemento secundario.
- c. Controlador, que es el “cerebro” del sistema de control.
- d. Elemento final de control, frecuentemente se trata de una válvula de control aunque no siempre. Otros elementos finales de control comúnmente utilizados son las bombas de velocidad variable, los transportadores y los motores eléctricos.

3.9. Tarjeta de adquisición de datos

Un microcontrolador es un circuito integrado o “chip” (es decir, un dispositivo electrónico que integra en un solo encapsulado un gran número de componentes) que tiene la característica de ser programable. Es decir, que es capaz de ejecutar de forma autónoma una serie de instrucciones previamente definidas por nosotros. El microcontrolador sería el componente principal de la circuitería de procesamiento y control. [16]

3.9.1. Microcontrolador arduino

El microcontrolador arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software gratis, libre y multiplataforma fáciles de usar. Una placa hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines-hembra (los cuales están unidos internamente a las patillas de E/S del microcontrolador) que permiten conectar allí de forma muy sencilla y cómoda diferentes sensores y actuadores. [17]

El lenguaje de programación es libre, el lenguaje de programación se entiende cualquier idioma artificial diseñado para expresar instrucciones (siguiendo unas determinadas reglas sintácticas) que pueden ser llevadas a cabo por máquinas. Este software lo deberemos programar generalmente nosotros mismos mediante algún lenguaje de programación estándar como puede ser Python, C, Java, Php, entre otros. [16]

3.10. Motores gráficos

Existen varias plataformas o programas que se utilizan para el desarrollo del simulador, crear contenido 3D orientados a la realidad virtual, simulación, visualización, entre otros. Mediante el manejo de estas herramientas virtuales permite la creación de sistemas en ambientes de inmersión 3D locales o remotos, movimientos de objetos, simular situaciones cotidianas que permite al operador interactuar con los elementos que le rodean en el mundo virtual.

Dependiendo del tipo de aplicación a la que se vaya a utilizar existe un sin número de software enfocado a la programación y simulación, entre ellos se cita el siguiente programa:

3.10.1. Unity 3D

Es un motor gráfico desarrollado por Unity Technologies en el año 2005, motor 3D multiplataforma, gratuito, permite crear videojuegos y aplicaciones 3D para diferentes dispositivos móviles, computadoras, consolas, internet.

Dentro de Unity 3D el editor presenta herramientas múltiples para la generación de animaciones de entornos virtuales, la ventaja de este motor gráfico es su acceso libre a la plataforma, aplicaciones interactivas, animaciones en 3D y visualizaciones en tiempo real. [19]

El programa dispone de un editor visual muy útil y completo en el cual se puede importar modelos en 3D, texturas, sonidos, entre otros, para después ir trabajando con ellos. En cuanto al scripting incluye una herramienta de desarrollo MonoDevelop que permite programar en C#, JavaScript. Esta parte es muy importante ya que para cualquier juego necesitamos aunque sea mínimamente algún script. Estos sirven para controlar el comportamiento físico de los objetos, crear efectos gráficos, entre otros. [20]

Al interactuar en un entorno de realidad virtual los objetos deben tener propiedades de colisión, efecto de masa para que sea afectado por la gravedad del espacio de Unity. A

continuación en la tabla Tabla 3.2. Funciones de Unity. Se detalla estas propiedad y la descripción del mismo.

Tabla 3.2. Funciones de Unity.

PROPIEDADES	DESCRIPCIÓN
Mesh Collider	Permite colisionar cualquier objeto con el avatar del usuario, se obtiene efectos de choque con los objetos.
Box Collider	Permite colocar limitantes de espacio en el terreno de interacción del usuario.
Rigidbody	Asigna propiedades de masa para ser afectado por la gravedad virtual y acciones de colisión, detección de colisión automática, fuente de sonido (pasos).

Fuente: Autores.

3.10.2. El controlador de personajes (Character Controller)

El carácter controller se utiliza principalmente para controles de jugador de primera o tercera persona que no hace uso físico del rigidbody. El personaje no podrá caminar a través de colliders estáticos (static) en una escena. Esto significa que se puede utilizar los colliders 3D estándar para crear una escena alrededor del cual el controlador caminará pero no estará limitado por el comportamiento físico realista en el personaje en sí.

El personaje en primera o tercera persona va a necesitar físicas basadas en colisiones para que no atravesase las paredes y otros objetos. Sin embargo, la aceleración del personaje y el movimiento no serán físicamente reales, por lo que podría acelerar, frenar y cambiar de dirección rápidamente sin ser afectado por el momento.

En físicas 3D, este tipo de procedimiento puede ser introducido aplicando un **Character Controller**. Este componente le da al personaje un simple collider (colisionador) en forma de capsula que siempre se encuentra en posición vertical. El controlador tiene sus propias funciones especiales para establecer la velocidad, dirección del objeto pero a diferencia de los verdaderos colliders, un rigidbody no es requerido y los efectos no son realistas. [19]

Tabla 3.3. Propiedades del controlador del personaje.

Propiedades	Función
Slope Limit	Limita el collider para que solo suba pendientes que sean menos empinadas (en grados) que un valor indicado.
Step Offset	El personaje va a configurar una escalera solamente si está cerca al piso que el valor indicado. Este no debe ser mayor que la altura del Character Controller o va a generar error.
Skin width	Dos Colliders pueden penetrarse entre sí tan profundo como el ancho de su piel (Skin Width). Mayores Skin Widths van a reducir la fluctuación de fase. Bajo Skin Width puede causar al personaje en quedarse atrapado. Un buen ajuste es hacer este valor 10% del Radius.
Min Move Distance	Si el personaje intenta moverse debajo del valor indicado, no se moverá en absoluto. Esto puede ser utilizado para reducir la fluctuación de fase. En la mayoría de situaciones este valor no debería ser dejado en 0.
Center	Esto va a desplazar el Capsule Collider en el espacio del mundo, y no va a afectar qué tanto el Personaje hace pivotes.
Radius	Longitud del radio del Capsule Collider. Este es esencialmente el ancho del collider.
Height	La altura de la Capsule Collider del personaje. Cambiar esto va a escalar el collider a lo largo del eje Y en ambas direcciones positivas y negativas.

Fuente: [19]

3.11. Hardware In the Loop (HIL)

Las nuevas tecnologías permiten el desarrollo de productos, equipos que mejoran la calidad de vida de las personas, el mismo tiene como objetivo hallar soluciones a problemas en la producción y la industria, optimizando procesos que reducen costos y tiempo de desarrollo.

Las técnicas de simulación Hardware in-the-loop se destaca por la capacidad de cálculo dentro del área de diseño, desarrollo y pruebas de sistemas para productos, el objetivo principal de las técnicas de simulación HIL es el de disponer de una plataforma efectiva para el desarrollo y pruebas de sistemas embebidos en tiempo real, esto se obtiene al simular una planta, equipos que se pretende controlar.

Las simulaciones Hardware in-the-loop han sido utilizadas en diferentes campos de la ingeniería, desde aeronaves, industria aeroespacial, industrial automotriz, aplicaciones para radares, robótica y sistemas de potencia. [21]

Algunos beneficios de las simulaciones Hardware in-the-loop son:

- Reducción en costos y tiempos de desarrollo
- Seguridad al utilizar simulaciones de pruebas de prototipos de controles.

- Visualización en 3D del objeto de estudio, permitiendo una mejor apreciación del entorno virtual y sus parámetros.

3.12. Realidad Virtual

Realidad virtual es un sistema informático utilizado para crear un mundo en el que el usuario tiene la impresión de estar en ese mundo y con la capacidad de navegar por el mundo y manipular objetos en el mundo. [22]

La realidad virtual se da gracias al desplazamiento del mundo físico a uno digital, debido a tecnologías de información y comunicación. Estas se encuentran fuertemente ligadas a la interacción de persona – computadora, este último es el componente donde se despliegan los entornos virtuales que interactúan con el ser humano, entendiendo como entorno virtual: geometrías, parámetros, configuraciones estáticas que modelan un escenario, este depende del tipo de hardware que se vaya a emplear para obtener los distintos tipos de inmersión. [23]

3.12.1. Elementos de la realidad virtual

Como se muestra en la Figura 3.5. Triangulo de los elementos de la realidad virtual. Se considera 3 elementos fundamentales dentro de la realidad virtual. [24]

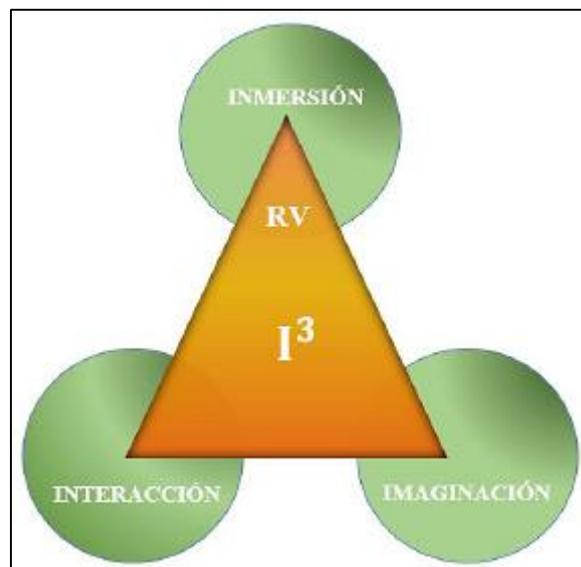


Figura 3.5. Triangulo de los elementos de la realidad virtual.

Fuente: [25]

- **Inmersión:** El usuario percibe únicamente los estímulos del mundo virtual, de manera que pierde todo contacto con la realidad. El grado de inmersión dependerá del contacto que éste posea con el entorno real.

- **Interacción:** El usuario interactúa con el mundo virtual a través de diferentes dispositivos y recibe la respuesta en tiempo real a través de sus sentidos.
- **Imaginación:** A través del mundo virtual el usuario puede concebir y percibir realidades no existentes.

3.12.2. Arquitectura de la realidad virtual

Según el investigador Burdea G, de acuerdo a la Figura 3.6. Arquitectura de la realidad virtual.. Manifiesta que los componentes que conforman la arquitectura de los sistemas de realidad virtual son los siguientes:

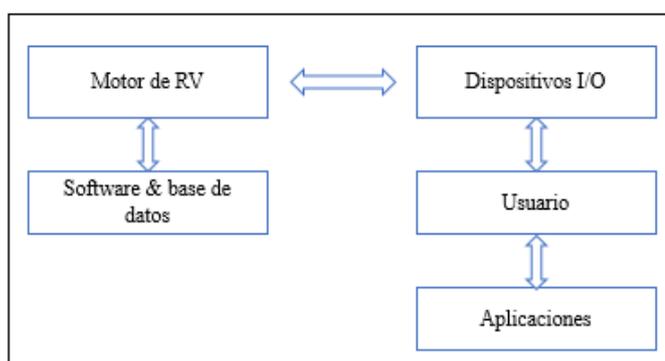


Figura 3.6. Arquitectura de la realidad virtual.

Fuente: [25]

- Dispositivos de salida:** realimentan los dispositivos sensoriales del usuario y proporcionan información del mundo virtual con respuestas visuales, auditivas, táctiles, por ejemplo, Pantalla Montada en la Cabeza (*HMD*, por sus siglas en inglés), guantes de datos o *dataglobes*, etc.
- Dispositivos de entrada:** realizan un seguimiento del usuario y su interacción con el entorno virtual. Para ello, en el mercado existen dispositivos como guantes de datos o *dataglobes*, ratones 3D, *trakers*, plataformas, etc.
- Motor de realidad:** se encarga de albergar el software que creará la realidad virtual; se lo puede considerar como un cliente- servidor, donde el *servidor* permitirá la sincronización de las imágenes, el control de colisión de las imágenes, comunicación con los clientes que visualizan el mundo virtual, etc.; mientras que el *cliente* contendrá el mundo virtual, se comunicará con el servidor, cada cliente podrá tener perspectivas distintas del mundo, mientras que el servidor enviará órdenes para que los clientes actúen en consecuencia.

- d. Software de Realidad Virtual:** se emplea como software de modelado de objetos virtuales, que involucran características del mundo virtual como geometría, modelado de textura, física de los objetos, dureza, inercia, plasticidad de superficie, etc. Incluye también *drivers* de entrada/salida (I/O), lenguajes de programación, librerías y demás sistemas que se emplean para la implementación de las interfaces del mundo virtual.
- e. Base de datos del mundo:** bases que contendrán los objetos del mundo virtual y sus propiedades. [25]

3.12.3. Tipos de realidad virtual

Según el artículo del investigador Mohamad A, titulada "Introduction to virtual reality technology" manifiesta que existe 4 tipos de realidad virtual:

- **Escritorio**

Entorno virtual 3D gráficamente expuesto en una computadora de escritorio monitor, ordenador.

- **Proyectado**

Entorno 3D proyectado sobre una pantalla. Permite a un solo usuario demostrar conceptos a un grupo de la gente. A CAVETM, donde se utilizan varias pantallas para rodear al usuario de imágenes, es la forma más avanzada de realidad virtual proyectada que se utiliza en la actualidad. [25]

- **Semi-inmersivo**

Los simuladores de vuelo, barcos y vehículos más avanzados son semi-inmersivos. La cabina, el puente o el asiento del conductor es un modelo físico, mientras que la vista del mundo exterior está generada por computadora (generalmente proyectada). [25]

- **Inmersivo**

Entorno 3D visto a través de una pantalla montada en la cabeza (HMD). En un sistema completamente inmersivo, el usuario se siente parte del entorno (experimenta una sensación de "presencia"). El usuario no tiene contacto visual con el mundo físico. [25]

3.12.4. Dispositivos empleados en realidad virtual

Tabla 3.4. Dispositivos empleados en la realidad virtual.

INSTRUMENTO	CONCEPTO
Smartphone para la RV	Se trata de un medio tecnológico que permite visualizar contenidos virtuales a través de su pantalla y de un giroscopio, el cual detecta el movimiento de la cabeza del usuario cuando este la mueve. Sin esta característica no sería posible visualizar un entorno de 360 grados.
PC para la RV	A diferencia del Smartphone, el PC no detecta el movimiento de la cabeza del usuario. Por lo tanto, resulta imposible acceder a un entorno de 360 grados sin utilizar unas gafas como accesorio.
Gafas de RV para Smartphone	Son el accesorio de RV más comercializado en la actualidad. Su objetivo es la visualización de contenidos virtuales inmersivos a través del giroscopio y la pantalla del Smartphone. El catálogo de gafas de RV es elevado, pues va desde las Cardboard (gafas corrientes de cartón) hasta las lentes más sofisticadas del mercado.
Gafas de RV para PC	El hecho de que sean menos comerciales no significa que sean peores; cada usuario elegirá el tipo de gafas en base a sus preferencias. De las gafas de PC se dice que son las que mayor experiencia reportan al usuario puesto que se utilizan en mayor medida en videojuegos. Las más reconocidas son las Oculus y las HTC Vive.
Videojuegos	Empresas como Sony y Microsoft han apostado fuerte por la Realidad Virtual en sus videojuegos, creando una gran expectación en el usuario debido a su novedoso estilo de jugabilidad.
Otros accesorios	Guantes, plataformas, simuladores, etc que permiten hacer más real la experiencia virtual del usuario.
Cámara de 360 grados	Se trata de una cámara que graba vídeos panorámicos en 360 grados y que permiten al usuario poder crear su propio entorno virtual y subirlo a plataformas como Youtube 360°. Una manera Low Cost de creación de contenido.

Fuente: [25]

3.13. Dispositivos periféricos de realidad virtual (Oculus Rift)

Es un dispositivo ligero, adaptable y cómodo desarrollado por la compañía Oculus VR. Existen varios tipos de gafas, visores para el desarrollo de varias aplicaciones ya que por sus cualidades permiten conseguir la experiencia marcada como objetivo. [26]

El Oculus Rift se compone principalmente de:

- Visor: suave y cómodo con una óptica personalizada que ofrece un amplio campo de visión.

- Controles Touch: par de controladores que permiten la presencia intuitiva de las manos en la realidad virtual.
- Dos sensores: los sensores de Rift hacen un seguimiento de las constelaciones de LED infrarrojos para trasladar los movimientos a la realidad virtual.
- Sonido envolvente: el audio integrado de Rift está diseñado para que la inmersión en la realidad virtual sea más profunda que nunca. [26]

4. METODOLOGÍA

En esta parte del proyecto se realiza un análisis de los principales métodos, técnicas y componentes que se utilizó para llevar a cabo el entorno inmersivo de operación de la estación de bombeo de agua y sistema contra incendio. Para esto el proyecto se apoyó en la investigación bibliográfica, que permite la búsqueda de antecedentes e investigaciones similares a la propuesta, esto permite construir una correcta fundamentación teórica, la investigación experimental, ya que se realizó varias pruebas de control de la variable de nivel, y del resto del sistema.

En el presente proyecto se utilizó las siguientes técnicas:

- Observación: Comportamiento de instrumentos analógicos.
- Modelación y simulación: Diseño del entorno inmersivo.

Además se utilizó el método cuantitativo por lo que influye principalmente las variables eléctricas como son: voltaje y corriente para las entradas y salidas analógicas y digitales de la tarjeta de adquisición de datos debido a su voltaje que es de 5V y la corriente máxima de 20mA.

Para tener una mejor comprensión y análisis de la propuesta tecnológica en la figura 4.1 se detalló un diagrama de procesos de los principales componentes que se utilizó para el desarrollo del entorno inmersivo como son: software para diseño, software para simulación, comunicación con dispositivos externos, con el fin de cumplir con los requerimientos funcionales para una óptima simulación.

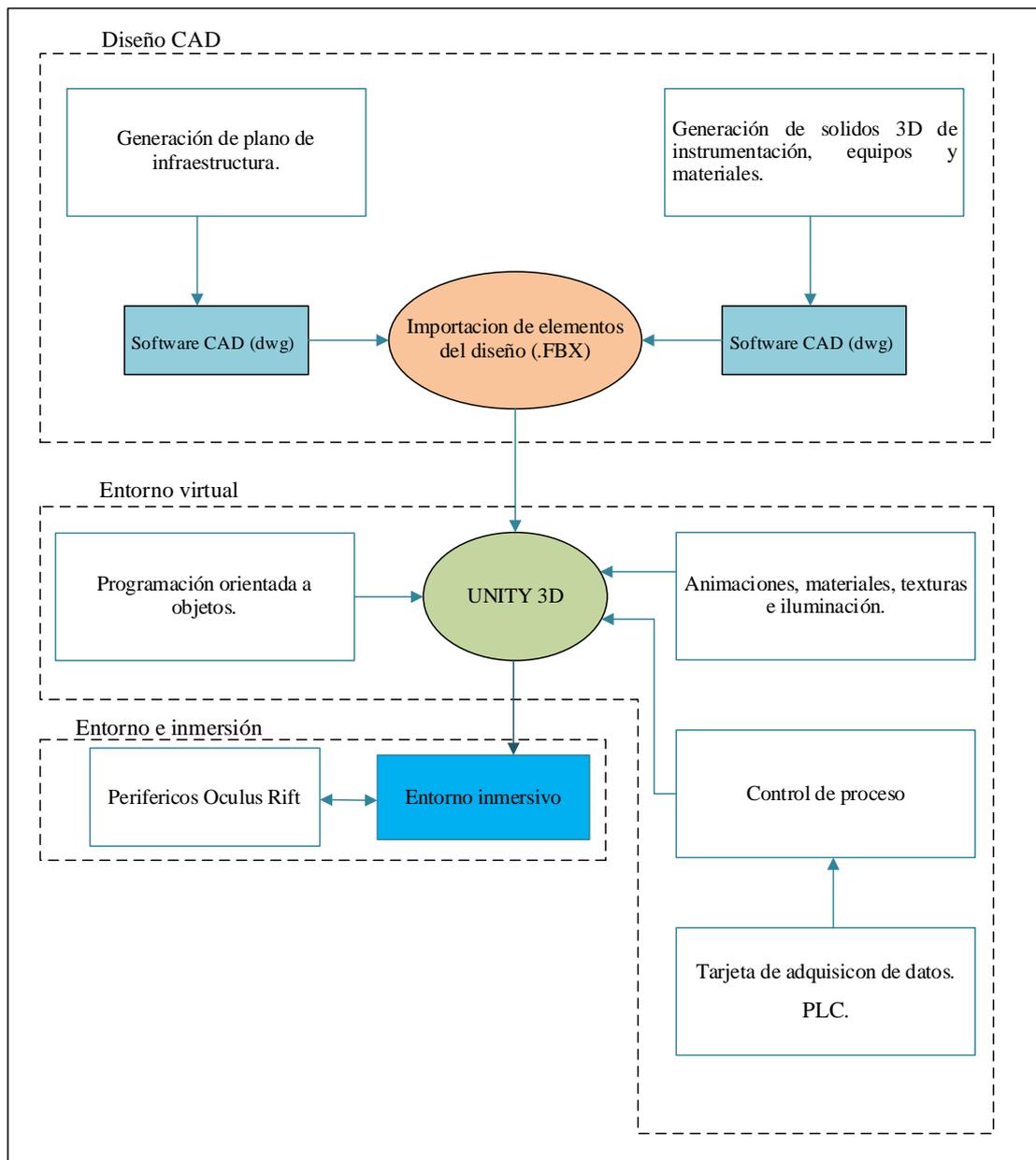


Figura 4.1. Diagrama de proceso.

4.1. Desarrollo del programa

El presente trabajo de titulación se refiere a la creación de un entorno inmersivo para el entrenamiento de operación de estación de bombeo de agua y sistema contra incendio, el cual se describe a continuación:

1. Se crea una infraestructura para la estación de bombeo de agua y sistema contra incendios para lo cual se utiliza un software CAD creando cada componente en formato DWG de manera individual y luego ensamblándolos conjuntamente hasta obtener el diseño preliminar.

2. A continuación se importa al motor gráfico Unity 3D en formato FBX en donde se realiza una mejora del diseño preliminar dando animaciones, sonidos, texturas para la simulación realista del control de proceso.
3. se ejecuta un entorno con funciones inmersivas e interactivas mediante el interfaz de dispositivos de inmersión.

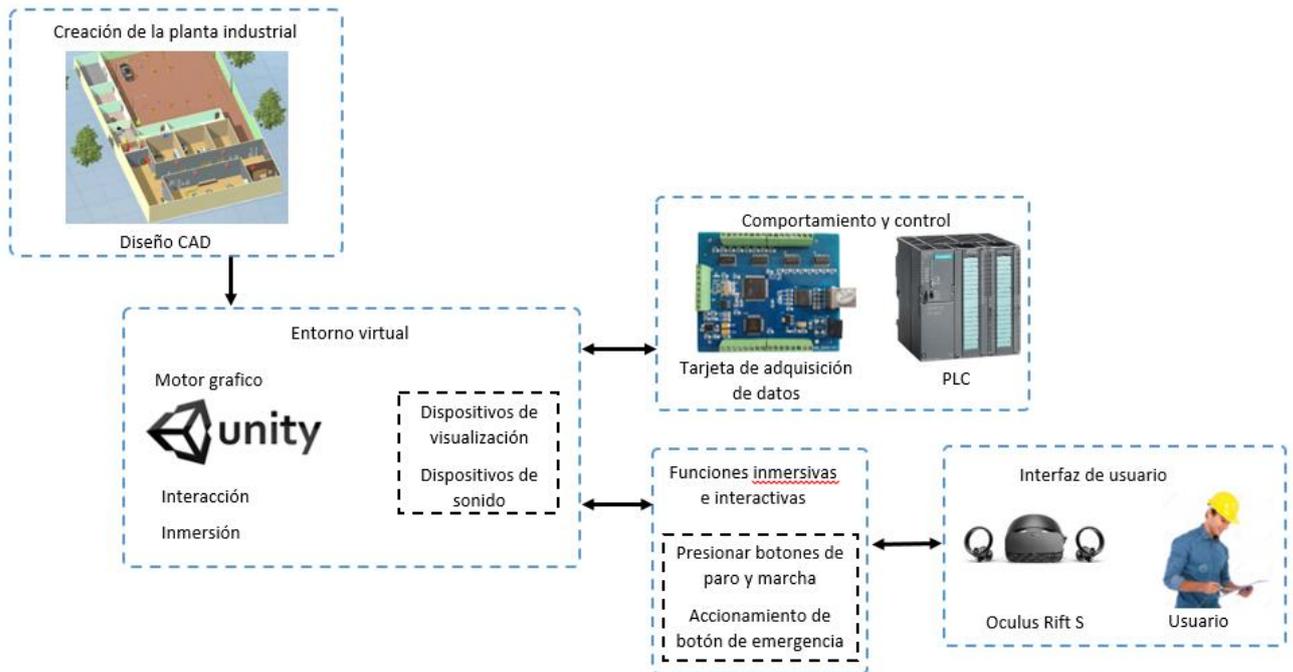


Figura 4.2. Esquema general del proyecto.

Tomando en cuenta a lo que se refiere el proyecto es necesario que exista un control de nivel para el tanque de almacenamiento de agua que mediante el accionamiento del sistema contra incendios este control mantenga un nivel mínimo en el tanque. Además para tener el control se cuenta con salidas, entradas analógicas y digitales, este control del sistema puede ser programado en cualquier controlador externo.

4.2. Creación del modelo 3D

Al desarrollar un sistema de entrenamiento en realidad virtual las características de diseño y funcionalidad deben ser los más cercanos a de los componentes de sistemas reales. El primer paso a considerar para la ejecución de proyectos de diseño 3D es el análisis de Normativas de diseño y construcción.

La planta industrial se diseña en primera instancia utilizando un software de diseño CAD en el mismo se diseñó y ubico los equipos que están sumergidos dentro de un sistema de bombeo y sistema contra incendios. En segunda instancia se da la corrección de los modelos, configuración de la escala, configuración de puntos de rotación quedando listo para ser utilizado en el motor gráfico Unity3D.

El diseño creado está sujeto a cambios por errores que se encuentran en la simulación de movimiento en el entorno virtual.

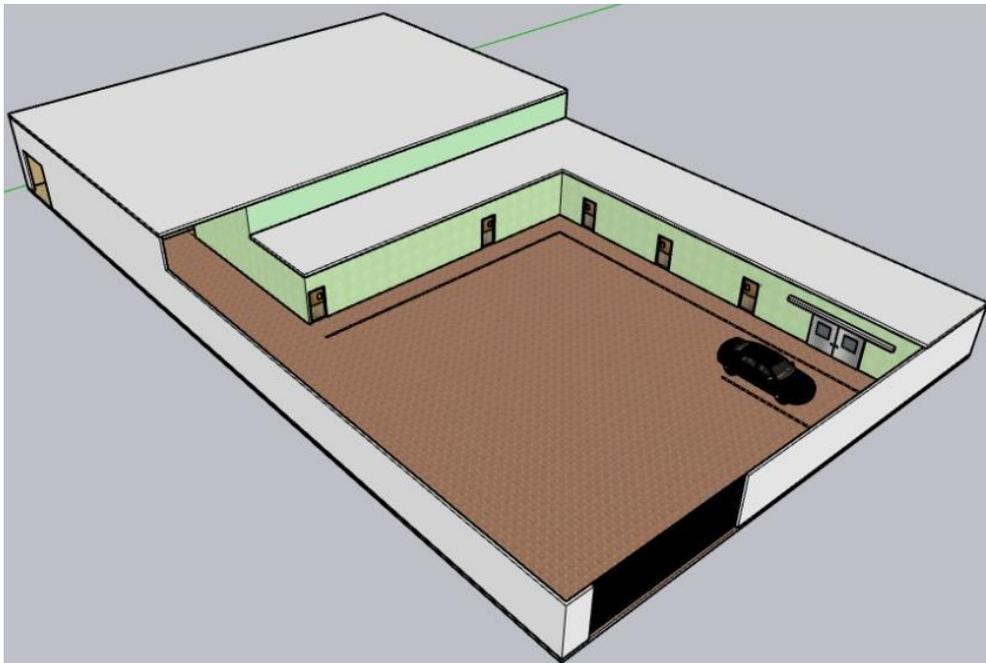


Figura 4.3. Diseño preliminar del modelo 3D del entorno.

4.2.1. Diseño de la estación de bombeo de agua y sistema contra incendio

El software CAD de diseño utilizado brinda muchas facilidades para lograr el modelo deseado en esta etapa, con el objetivo de realizar de manera rápida y precisa el diseño de la estructura industrial en forma tridimensional. Al ser un sistema de entrenamiento basado en la realidad virtual, las características de funcionalidad y de diseño deben ser idénticas a lo real.

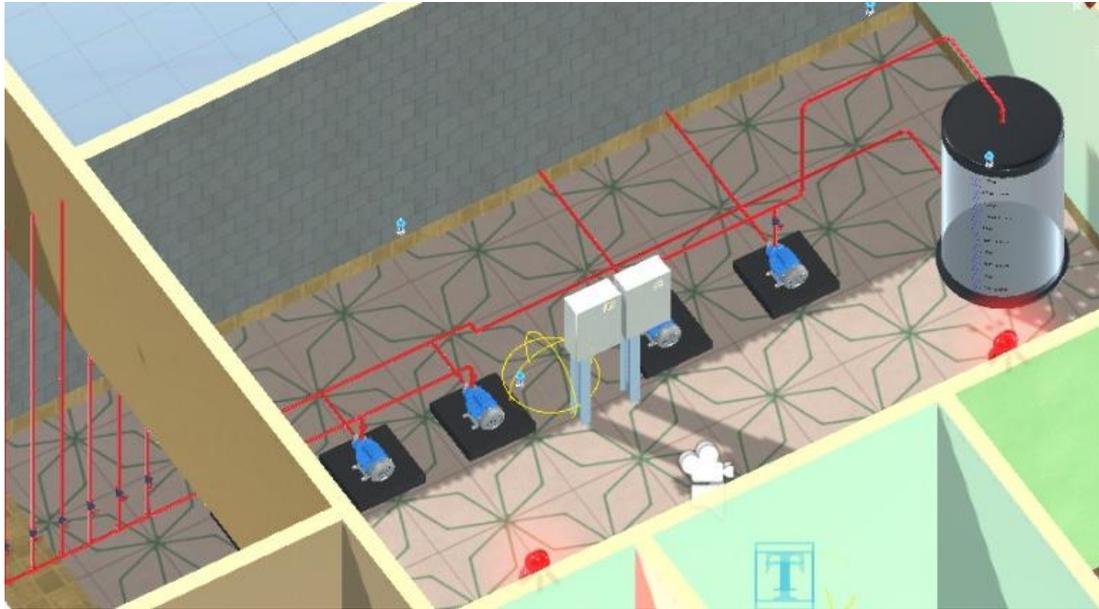


Figura 4.4. Diseño del sistema de bombeo y sistema contra incendio.

4.3. Creación del entorno virtual

Para la creación del entorno virtual del proceso se desarrolla en dos partes principales que se detalla a continuación:

1. En el software CAD se diseña la estructura, tuberías y parte de los equipos posicionándolos según se necesite, a continuación se exporta en formato FBX.
2. En Unity3D se importan instrumentos, equipos y accesorios que se requiera en formato FBX u OBJ, se corrigen problemas con la posición, escala de los objetos, además se configuran puntos de rotación de los diferentes objetos que lo necesiten.

4.3.1. Importación del diseño CAD

Lo siguiente a realizar es importar el diseño de la planta unificada de todos los elementos desarrollados en formato FBX, es necesario este formato por el grados de compatibilidad con el motor gráfico Unity3D en el cual los modelos de la planta industrial están animados.



Figura 4.5. Exportación del diseño del sistema en FBX.

4.3.2. Configuración de puntos de rotación

Estos puntos se deben configurar según las necesidades del proyecto en cada objeto que requiera de movimiento. Puntos pivote sobre el cual queremos que se muevan o roten los objetos. Esta acción se lo realiza de la siguiente forma:

1. Dando click en la pestaña de herramientas, seleccionar los iconos pivote; local; rotate tool, teniendo eso en cuenta pasamos a crear un script para configurar el punto de rotación utilizando Visual Studio. En este caso configuramos los puntos de rotación en válvulas y puertas.
2. Una vez creado el script arrastramos sobre el objeto que será controlado.



Figura 4.6. Punto de rotación.

4.4. Desarrollo de la virtualización del entorno

4.4.1. Asignación de materiales, texturas e iluminación en la plataforma Unity3D

Dentro del entorno virtual en Unity3D una vez colocado el modelo en la escena se configura y se asigna los materiales a cada objeto individualmente, además se configura la iluminación del entorno. Para obtener estos efectos de calidad gráfica se procede de la siguiente forma:

1. Se crea una carpeta en el apartado assets con el nombre de materiales, en la misma se designa materiales los cuales nos servirán para dar color, textura y transparencia a todos los objetos del escenario permitiéndonos obtener una mejor visión y realismo de los objetos.



Figura 4.7. Asignación de materiales y texturas.

4.4.2. Sonido de bombas en Unity3D

En Unity3D para animar bombas se requiere insertar un sonido y efectos a la misma, con la finalidad de darle una impresión realista al usuario. Para realizar estos efectos de lo realiza de la siguiente forma:

1. Mediante un script se le da condiciones para realizar el encendido y apagado de bombas. Además se lo puede controlar añadiendo el componente Audio Source, el cual contiene el control de audio que es importado a la simulación y el mismo que podemos modificar el volumen y efectos de audio.

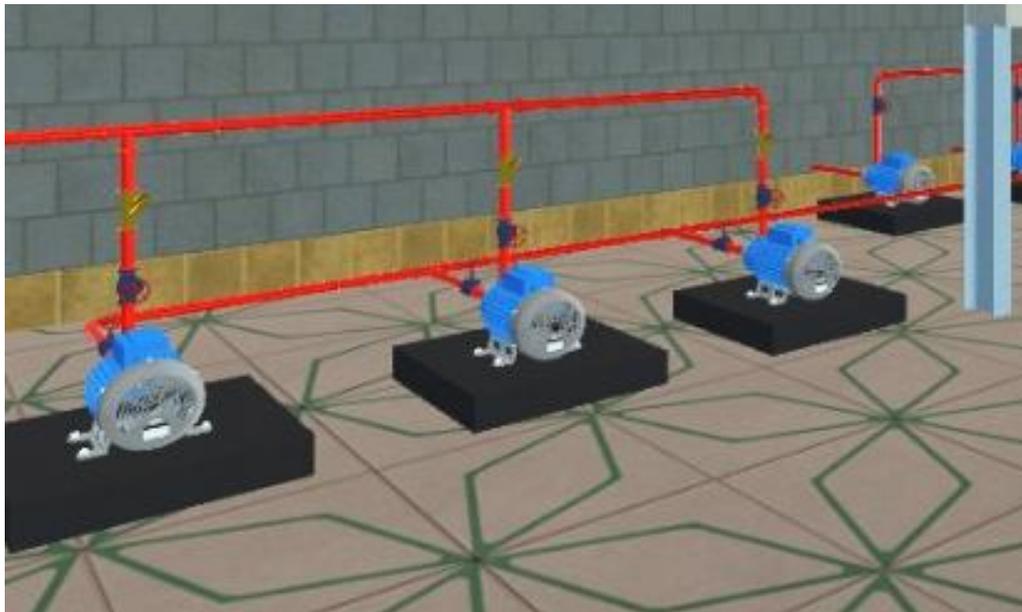


Figura 4.8. Animación y sonido de las bombas.

4.4.3. Implementación del HMI

El panel de control se implementó para la instrumentación en el cual se visualiza las variables del control PI&D de nivel del tanque, el estado de las bombas, alertas de incendios en cada zona de la planta y las curvas de tendencias de las variables de control del tanque.

1. Este panel fue configurado creando un objeto Canvas es un lienzo que viene en las herramientas de unity3D en el cual se añade botones, paneles para imágenes, textos, sliders y finalmente se le asigna colores con los cuales se forma un panel de control para a visualización del sistema.



Figura 4.9. HMI implementado en el sistema.

4.4.4. Sistemas de partículas de fuego y agua

Para simular los efectos de agua y fuego se crean sistemas de partículas a los cuales les añadimos efectos y texturas para obtener una animación más real, estos sistemas de partículas se crean de la siguiente forma:

1. Entrando en la pestaña GameObject; effects; particle system. Obteniendo un nuevo objeto el cual controla la velocidad, tamaño, texturas, cantidad y efectos de acuerdo a lo requerido, se crea un nuevo script con el cual se procede a controlar estos sistemas de partículas.

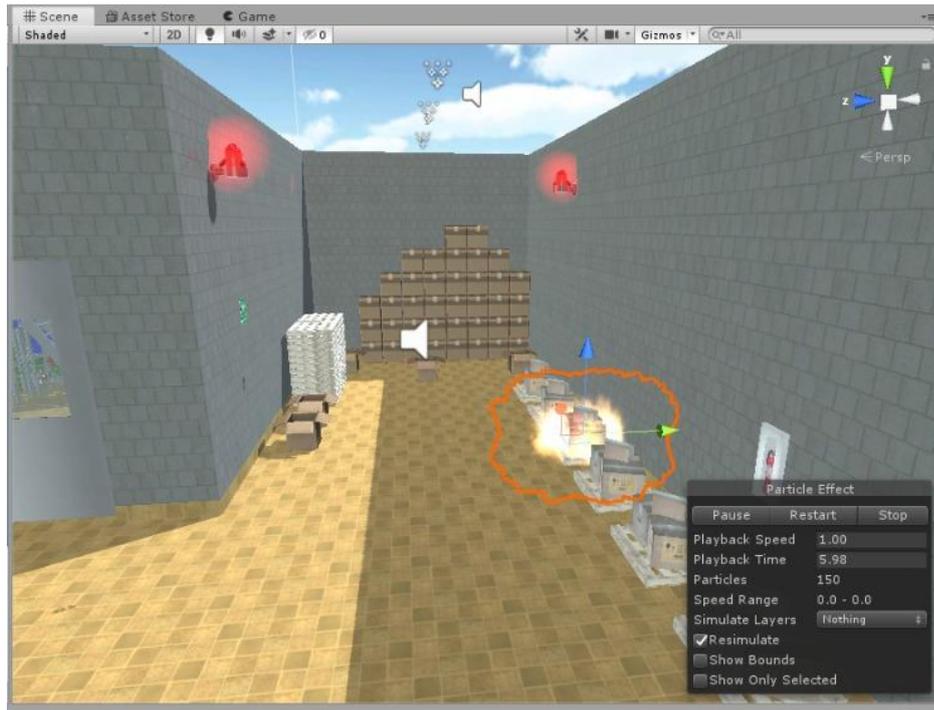


Figura 4.10. Sistema de partículas de fuego.

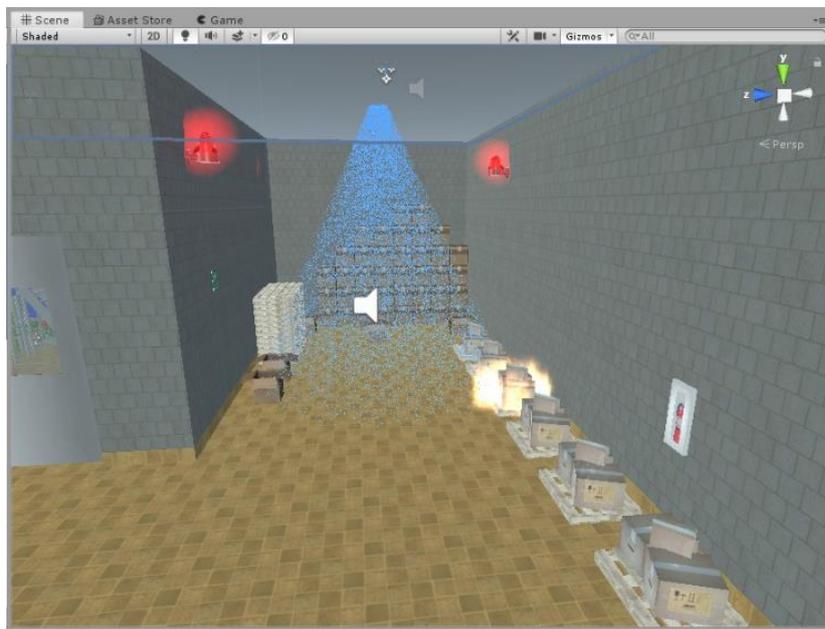


Figura 4.11. Sistema de partículas de rociadores de agua.

4.4.5. Integración de señalización y símbolos de seguridad en el entorno virtual

Dentro de una industria los accidentes siempre existirá, para erradicar los accidentes industriales existen normas de seguridad que toda persona debe saber y cumplir. De acuerdo a la norma NTE INEN-ISO 3864-1:2013 hace referencia a señales y símbolos de seguridad que se coloca en los diferentes puntos de la planta en la infraestructura del sistema contra

incendio. Estas señales ya vienen previamente diseñadas en el software CAD y dentro de Unity3D se asigna colores y texturas para que visualice de mejor forma.



Figura 4.12. Extintores.



Figura 4.13. Señalización de salidas de emergencia.



Figura 4.14. Plano de evacuación del sistema diseñado.

4.4.6. Configuración de los tableros de control

Los botones del tablero de control se activan al dar un click accionado mediante el mouse y también mediante los controles touch de la gafas Oculus Rift S.

1. Para desarrollar la configuración dentro de Unity3D se crea una función y se le asigna un TAG a cada botón el cual permite esta interacción entre el jugador y los tableros de control y de esa forma obtener la función de encender las bombas y dar marcha al sistema. Estos tableros son importados previamente desde el software CAD, luego se crea los botones con herramientas UI y paneles en un canvas para poder asignarles colores y textos, finalmente su animación se realiza configurando puntos de rotación para su movimiento, asignándoles sonidos y además se crea un script que tiene el control de los mismos.



Figura 4.15. Botones del tablero de control.

4.4.7. Configuración de puntos de colisión

1. Se crea puntos de colisión utilizando la herramienta box collider el cual evita que otros objetos rodeen un sistema de partículas al momento de estar en contacto, cada interacción da fallas de que se dispersen o atraviesan los objetos al momento del contacto y como consecuencia de esto el objeto suele atravesar cualquier objeto previo aun no colisionado.

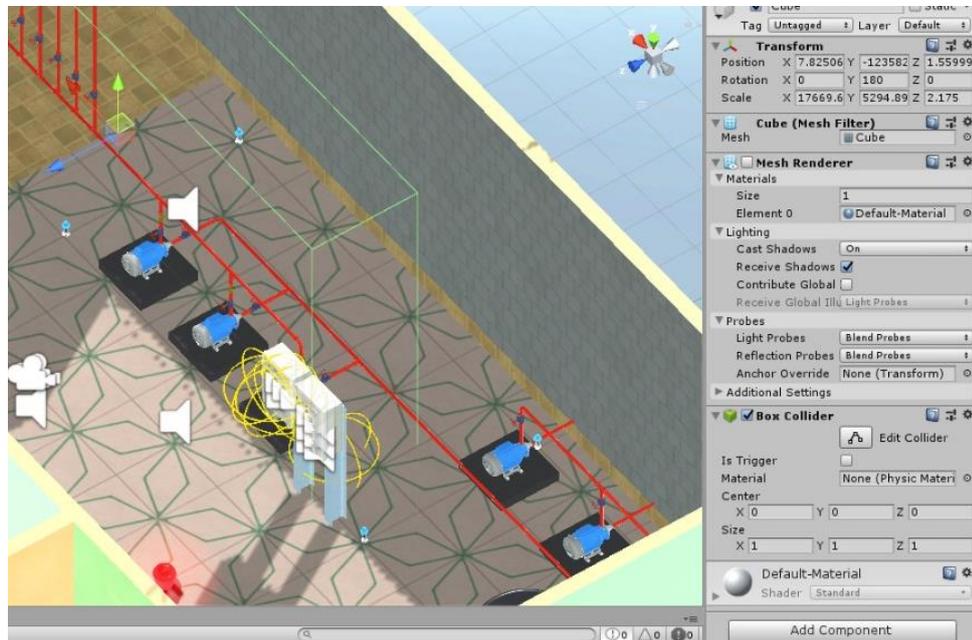


Figura 4.16. Configuración de puntos de colisión en objetos.

4.4.8. Configuración del jugador en primera persona

El jugador es una cámara virtual sobre una capsula componente (capsule collider) invisible que interactúa con el ambiente el cual puede ser controlado por el usuario por medio de teclas de navegación del computador para desplazarse y el mouse para cambiar ángulo de visión, dentro de esto se realiza las funciones de prendido y apagado de bombas, apertura y cierre de válvulas en esta instancia. También se requiere crear un script para controlar las funciones del jugador que nos permita movilizarlo dentro del escenario.

1. Se crea un objeto capsula al cual se le añade un componente (capsule collider) el cual permite el control de movimiento en sus 3 dimensiones se le añade características de gravedad para que no flote, se le asigna una cámara y finalmente un script que contiene código para su control en el escenario.

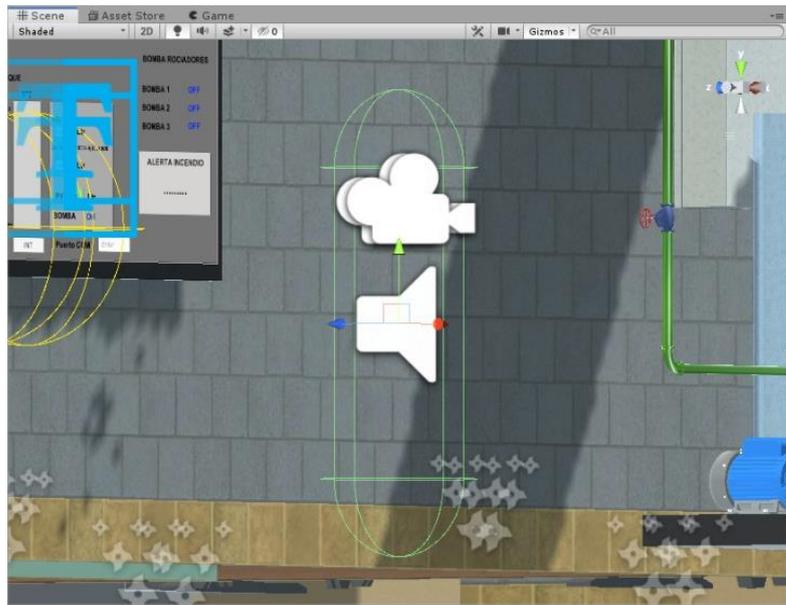


Figura 4.17. Objeto “Player” para el desplazamiento dentro del entorno.

4.4.9. Comportamiento de la planta.

La planta se divide en 3 zonas las cuales tienen sensores que detectan de humo que activan de forma automática las sirenas, luces y las bombas para posteriormente extinguir con agua el incendio producido. Una vez activadas las bombas el tanque de agua procede a bajar su nivel quedando en un nivel mínimo y esto es recompensado por el control PI&D hasta quedar estático en el Setpoint predeterminado. Además se configura un botón de emergencia para que el usuario pueda activar el sistema de forma manual en cualquier zona en la cual se esté dando el incendio.

Todo este funcionamiento es verificado por un sistema de control que se encuentra en el cuarto de bombas mediante una pantalla HMI que se realizó con herramientas UI de Unity3D. Se configura a todos los motores para que se puedan apagar y prender mediante el accionamiento de Breakers ubicados en los tableros de control.

En el panel de control mediante una tarjeta de adquisición de datos se ingresa señales digitales y analógicas desde cualquier microcontrolador para el control del nivel del tanque así como también para el control de encendido de bombas.

El llenado y vaciado del tanque se efectúa mediante la bomba de succión seguida de una válvula y es descargada por dos bombas en paralelo, el tanque se controla mediante un

control PI&D. El tanque tiene un rango de llenado de 0-200m³ con sus divisiones entre puntos de 10 en 10.



Figura 4.18. Pantalla de control del sistema.

Para obtener el control del sistema se aplica el algoritmo de control, el comportamiento de la planta se simula a través del principio de Bernoulli que, para nuestro caso de estudio, se define de la siguiente manera:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{q_{in} - q_{out}}{A} \quad (4.1)$$

$$q_{in} = k_1 a_1 \quad (4.2)$$

$$q_{out} = k_2 a_2 \sqrt{2gh} \quad (4.3)$$

Donde:

h : Nivel del tanque (0-200lts).

q_{in} : Flujo de entrada en el tanque (0 – 5 volt).

q_{out} : Flujo de salida en el tanque.

A : Área del tanque (1.5 m).

k_1 : Constante de la válvula en la entrada del tanque (0.05).

k_2 : Constante de la válvula en la salida del tanque (0.015).

a_1 : Apertura de la válvula de entrada del tanque (0 – 100 %).

a_2 : Apertura de la válvula de salida del tanque (0 – 100 %).

g : Gravedad (9.8 m/s²).

Algoritmo del control PID

El control PID permitirá regular el nivel en el tanque. La ecuación para el controlador PID se define de la siguiente manera:

$$integral(t) = integral(t) + e(t) * dt \quad (4.4)$$

$$derivativo(t) = \frac{e(t) - e_{anterior}(t)}{dt} \quad (4.5)$$

$$controlador PID = k_p * error + k_i * integral + k_d * derivativo \quad (4.6)$$

Donde:

$$k_d = 2.7$$

4.5. Integración del dispositivo Oculus Rift en Unity3D

Es un dispositivo que reconoce los movimientos de la cabeza del usuario para cambiar su punto de vista dentro del ambiente virtual. Además brinda una sensación de presencia en dicho ambiente con la realidad virtual.

Para poder utilizar el Oculus Rift es necesario descargar desde su web oficial e instalar la aplicación para la configuración del dispositivo.



Figura 4.19. Página para descargar el software Oculus Rift.

Fuente: [27]

Para poder interactuar con Unity3D se procede a descargar el paquete de Oculus integration de la asset store que contiene Unity posteriormente se lo importa a la carpeta assets de Unity para poder utilizar sus prefabs los cuales contienen la cámara y las manos con la que podemos interactuar. Procedemos a borrar la cámara principal y colocamos el prefab (OVRPlayerController) este componente contiene una cámara integrada para cada ojo a continuación buscamos en la carpeta de Oculus los prefab (CustomHandRight y CustomHandLeft) y los arrastramos sobre OVRPlayerController de esta manera tenemos la visión con cámara y las dos manos dentro de la escena.

Con este visor y los controladores podemos interactuar presionando botones de esta manera el sistema de bombeo será puesto en marcha además nos podemos trasladar de un lugar a otro caminando o mediante los jostik que poseen los controles touch de oculus rift.

Adicionalmente creamos un script que contendrá todo el control de los touch de oculus rift al cual se lo nombrará como @TouchscreenController mediante este código podemos dar la orden de activar los objetos mediante el dedo índice.

4.6. Comunicación entre Unity3D y tarjeta de adquisición de datos.

Para comunicar la tarjeta de adquisición y Unity3D se utiliza dos scripts tanto en Visual Studio como en el ID de Arduino. Esto se lo realiza mediante una trama de datos en la cual se envía y reciben caracteres separados por una letra así permitiendo desentramar datos en

la tarjeta de adquisición de datos, de la misma manera se envían y reciben datos mediante variables Strings.

4.6.1. Señales digitales y analógicas

Para establecer el control mediante un PLC la tarjeta de adquisición de datos tiene integrado un circuito con acondicionadores de señal tanto analógicas como digitales las cuales son enviadas y recibidas por el PLC cumpliendo con la función de control, a continuación se muestra un diagrama del acondicionamiento de señales.

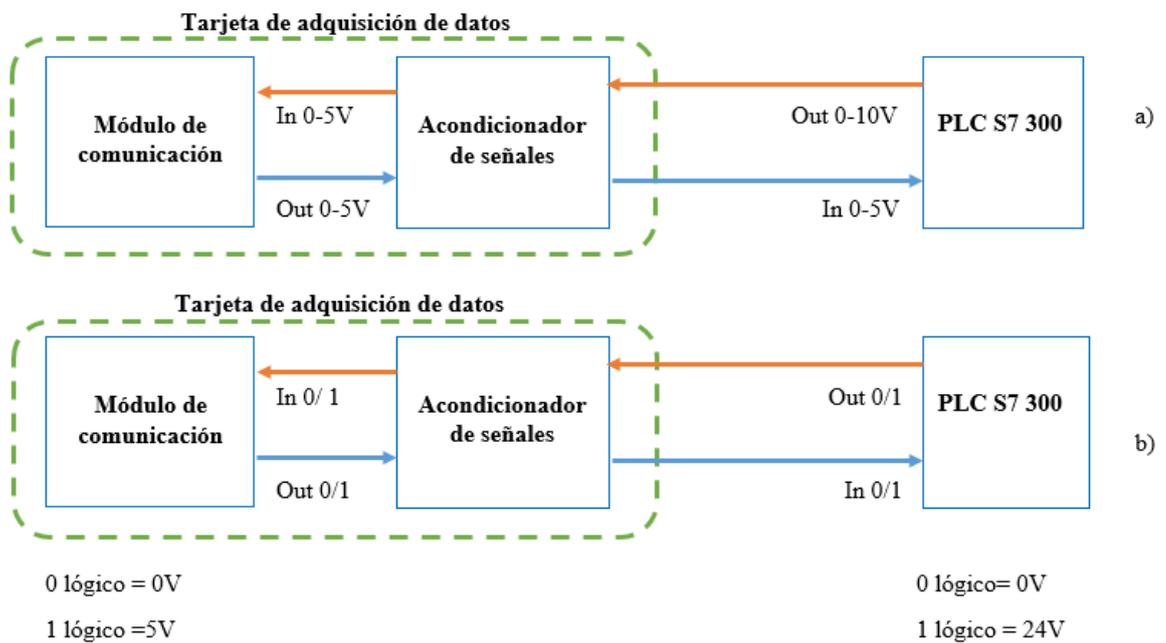


Figura 4.20. a) Acondicionamiento de señales analógicas.
b) Acondicionamiento de señales digitales.

Tabla 4.1. Salidas digitales de la tarjeta de adquisición de datos.

Variables	Denominación	Voltaje
Q0	Paro del sistema	1/0
Q1	Inicio del sistema	1/0
Q2	Sensor de fuego zona 1	1/0
Q3	Botón de emergencia zona 1	1/0
Q4	Sensor de fuego zona 2	1/0
Q5	Breaker bomba 1	1/0
Q6	Breaker bomba 2	1/0
Q7	Breaker bomba 3	1/0
Q8	Sensor de fuego zona 3	1/0
GND	Común	-24

Tabla 4.2. Entradas digitales de la tarjeta de adquisición de datos.

Variables	Denominación	Voltaje
I0	Electroválvula zona 1	1/0
I1	Electroválvula zona 2	1/0
I2	Bomba 2	1/0
I3	Bomba 3	1/0
I4	Bomba 1	1/0
I5	Electroválvula zona 3	1/0
DC	Común	5V

Tabla 4.3. Entradas y salidas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos.

Variables	Denominación	Voltaje
AO PV	Process Value	0 – 5V
AO SP	Setpoint	0 – 5V
AI CV	Control Value	0 – 10V

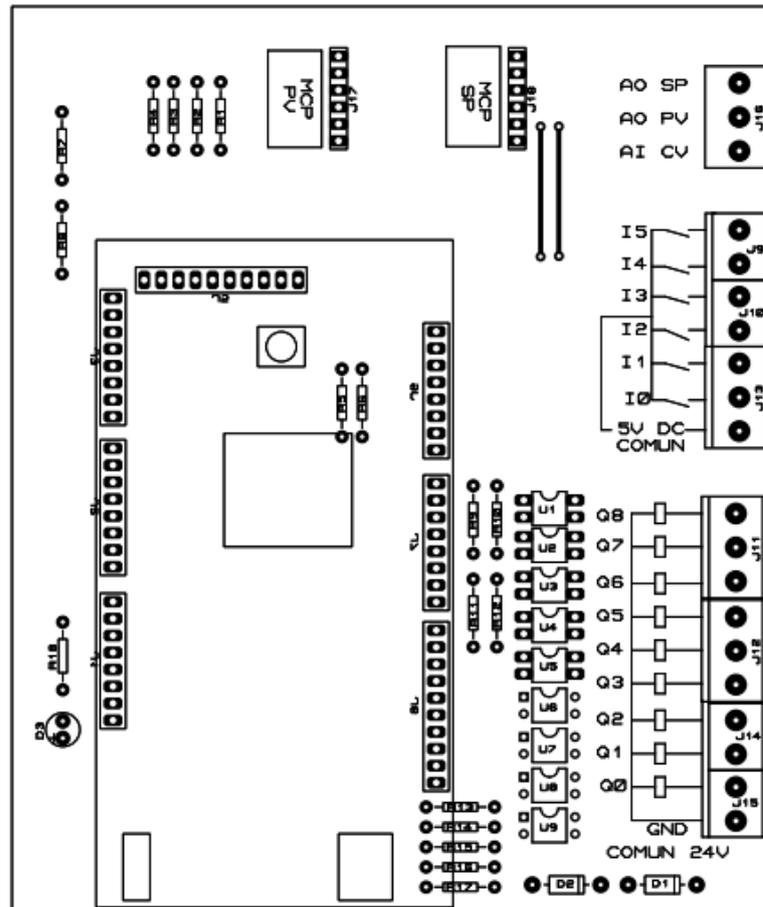


Figura 4.21. Diseño de tarjeta de adquisición de datos.

4.6.2. Control con PLC

Se crea un control programando en el software Tia Portal para cargarle al PLC, una vez cargado la programación se conecta las salidas y entradas a la tarjeta de adquisición de datos para enviar y sacar las señales de 0 a 5V del software de simulación Unity 3D en la cual se lleva a cabo toda la ejecución del programa con los diferentes actuadores y equipos existentes en el proceso.

4.6.3. Variables para conexión con PLC

Tabla 4.4. Módulo de entradas digitales.

Módulo de Entradas Digitales	SM 321 DI 16xDC 24V
	6E57 321-1BH50-0AA0
Variables de entradas digitales	Denominación
I4.0	Paro del sistema
I4.1	Inicio del sistema
I4.2	Sensor de fuego zona 1
I4.3	Botón de emergencia zona 1
I4.4	Sensor de fuego zona 2
I4.5	Breaker bomba 1
I4.6	Breaker bomba 2
I4.7	Breaker bomba 3
I5.1	Sensor de fuego zona 3

Tabla 4.5. Módulo de salidas digitales.

Módulo de Salidas Digitales	SM 322 DO 8xREL AC230V
	6E57 322-1HF01-0AA0
Variables	Denominación
Q0.1	Electroválvula zona 1
Q0.2	Electroválvula zona 2
Q0.3	Bomba 2
Q0.4	Bomba 3
Q0.5	Bomba 1
Q0.6	Electroválvula zona 3

Tabla 4.6. Módulo de entradas y salidas digitales.

Módulo de Entradas y Salidas Analógicas	SM 334 AI4/AO2 x 8BIT
	6E57 334-OCEO1-0AA0
Variables	Denominación
IW288	Process Value
IW290	Setpoint
QW288	Control Value

4.6.4. Sintonización de curvas de respuesta PID

Para la sintonización de las tendencias se aplica el método de Sintonía Lambda, este es un método sencillo que da resultados buenos en ciertas circunstancias siempre que el parámetro de diseño sea el adecuado. Este método cancela un polo del proceso, lo que se convertirá en una respuesta de las perturbaciones de carga en procesos dominados por las constantes de tiempo.

1. Requerimientos: modelo de primer orden, estable o integral, con tiempo muerto.
2. Parámetros de diseño: constante de tiempo del lazo cerrado (λ).

$$\lambda = \frac{\lambda}{T_0} \quad (4.7)$$

Control PID

$$PID_{(s)} = k\left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) \quad (4.8)$$

El modelo matemático para la sintonización por el método Lambda del proceso es el siguiente:

$$G_{(s)} = \frac{0.02}{1 + s} e^{-3.6s} \quad (4.9)$$

Donde:

$$T=1; L=3.6; K=0.02$$

Y reemplazando las ecuaciones con los valores constante $Tcl=1$, se obtiene el siguiente resultado:

$$k_c = \frac{1}{K} \left(\frac{\frac{L}{2} + T}{\frac{L}{2} + T_{cl}} \right)$$

$$k_c = \frac{1}{0.02} \left(\frac{\frac{3.6}{2} + 1}{\frac{3.6}{2} + 1} \right)$$

$$k_c = 5$$

$$T_i = T + \left(\frac{L}{2} \right)$$

$$T_i = 1 + \left(\frac{3.6}{2} \right)$$

$$T_i = 2.8$$

$$T_d = \left(\frac{TL}{L + 2T} \right)$$

$$T_d = \left(\frac{1(3.6)}{3.6 + 2} \right) = 0.643$$

$$T_d = 0.643$$

Los valores de estas constantes fueron sujetas a una sintonía fina para mejorar la sintonización del proceso, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4.7. Constantes obtenidas para el proceso Nivel.

Constante	Método de sintonía		
	Tanteo	IAMBDA	
	Valor	Valor calculado	Valor sintonizado
Kc	2.92	5	5.223
Ti	55.6172	2.8	2.8
Td	0.000005	0.643	0.0000001

4.7. Generación del ejecutable

Para finalizar el sistema dentro la plataforma de realidad virtual, se genera un ejecutable que permite desarrollar la simulación en cualquier ordenador que contenga este archivo, para poder interactuar en el ejecutable se puede efectuar utilizando el teclado del computador y el mouse como controlador o integrar los dispositivos de Realidad Virtual, para poder realizar esto se debe configurar el modo de jugador “player” habilitando la opción de realidad virtual “Virtual Reality Supported” en la interfaz de Unity, y así poder ser visualizado con el dispositivo del Oculus Rift S.

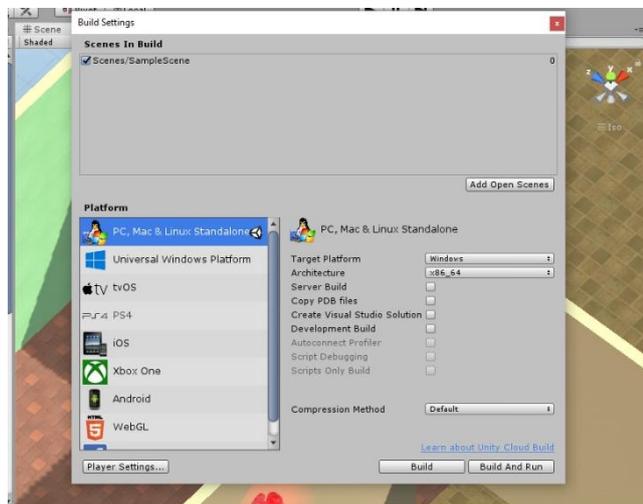


Figura 4.22. Ventana de creación del ejecutable.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Análisis de resultados

Para validar el funcionamiento del entorno inmersivo, se ha planteado 2 casos de estudio con diferentes condiciones de operación: inicialmente se presenta los resultados obtenidos al aplicar al jugador en primera persona y el funcionamiento del entorno inmersivo con las gafas de realidad virtual (Oculus Rift S) mediante el control externo de una tarjeta de adquisición de datos.

5.1.1. Procedimiento para la operación del proceso

Para la operación y control del sistema en las dos versiones inicialmente se ingresa el puerto COM en el espacio que se encuentra ubicado en el panel de control, esto permite la comunicación con la tarjeta de adquisición de datos para tener control del sistema. Además de esto para iniciar el sistema se debe pulsar el botón inicio que se encuentra en el primer tablero de control, y como siguiente paso se selecciona el nivel de tanque que se requiera mediante el variador del SetPoint.



Figura 5.1. Espacio para ingresar puerto COM de comunicación.

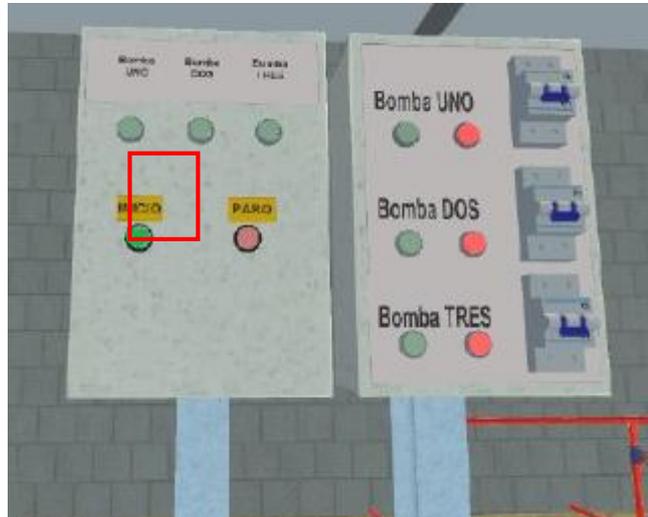


Figura 5.2. Botón para inicio al sistema.



Figura 5.3. Selección del SetPoint para nivel del tanque.

Se creó dos versiones del sistema:

1. En la primera versión está en modo escritorio la cual cuenta con una programación para que el sistema sea controlado mediante un PLC, el accionamiento del sistema se realizó con la configuración del mouse y teclado para facilitar el uso del programa.

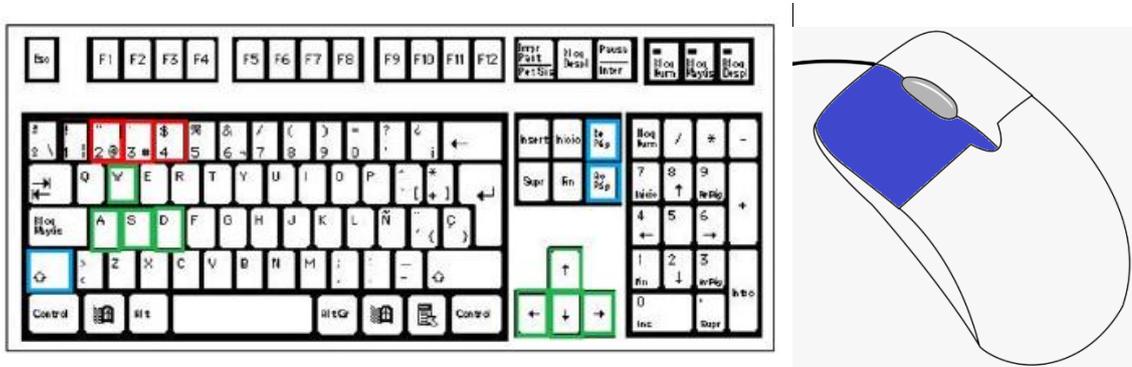


Figura 5.4. Teclas de accionamiento y movimiento.

Instrucciones	
W	Caminar hacia adelante
S	Caminar hacia atrás
A	Caminar hacia la derecha
D	Caminar hacia la izquierda
Flecha ↑, RePag	Elevar cámara
Flecha ↓, AvPag	Bajar cámara
Flecha →	Mover cámara hacia la derecha
Flecha ←	Mover cámara hacia la izquierda
Shift	Correr
2	Activar incendio zona 1
3	Activar incendio zona 2
4	Activar incendio zona 3
Click izquierdo	Interacción con botones y pantalla

Figura 5.5. Instrucciones de las teclas.

2. En la segunda versión está en modo inmersivo la cual está programada en Unity3D y el accionamiento del sistema es mediante la configuración de las gafas de realidad virtual Oculus Rift S las cuales contienen los controladores Touch.



Figura 5.6. Controles Touch.

5.1.2. Características de la respuesta del sistema sometido al jugador en primera persona

Como objetivo del proyecto se pretende representar un sistema real de una estación de bombeo y sistema contra incendio para la interacción del jugador en primera persona. El entorno inmersivo simula el funcionamiento de una estación de bombeo de agua y el sistema contra incendio, se realizaron pruebas con el jugador en primera persona, el mismo puede moverse a través de todo el escenario colisionando con todos los objetos. Además para controlar el jugador en primera persona de forma externa con los objetos del sistema se lo hace mediante el presionar botones del teclado de la computadora y del mouse en los diferentes objetos existentes como son: control en HMI, tableros de control, botón de emergencia.



Figura 5.7. Visualización en primera persona de la estación de bombeo.

Simulación del Cuarto de bombas

En este modo de juego el jugador en primera persona consta de una cámara con un cuerpo invisible que mediante el mouse y el teclado interactúa con cada una de las instancias que se presentan, así tenemos el cuarto de bombas en el cual se puede seleccionar el nivel del tanque, iniciar el sistema, prender y apagar las bombas e interactuar con los HMI que realiza el control del tanque.

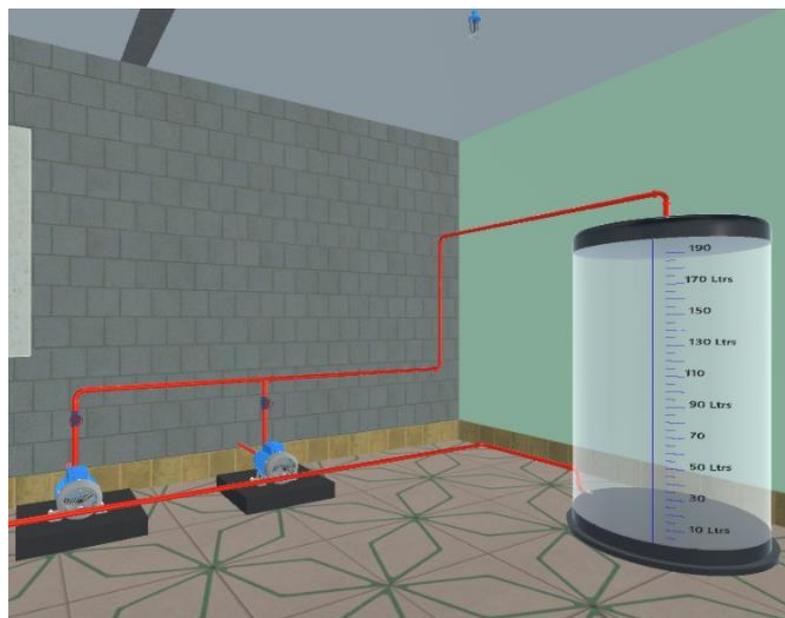


Figura 5.8. Visualización en primera persona del cuarto de bombas.

Simulación del llenado del tanque de agua

En esta parte del sistema el jugador en primera persona puede interactuar con la pantalla HMI para seleccionar el nivel del tanque que está controlado mediante un P&ID, esto se lo hace al introducir en el HMI el valor del Setpoint que requerimos para el sistema. Dicho tanque está diseñado de un material transparente para observar el nivel del mismo y compararlo con el nivel de fluido seleccionado en el Setpoint.

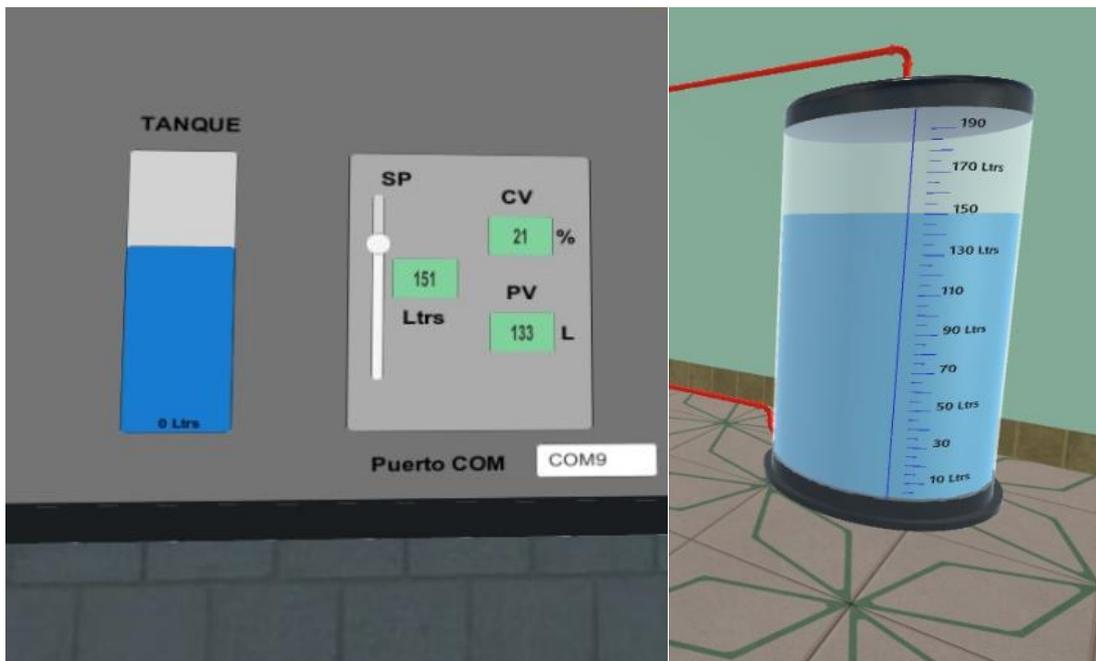


Figura 5.9. Visualización en primera persona del llenado del tanque.

Para este análisis se seleccionó en el Setpoint el valor de 151 lts, el mismo que puede variar de 0 lts como mínimo y de 200 lts como máximo. Al seleccionar el Setpoint el P&ID desarrollado para el control del nivel reflejara el mismo valor seleccionado en el tanque como se muestra en la figura 5.8.

Control PID externo y curvas de respuesta del proceso de nivel.

El control P&ID se realizó para el control del nivel de líquido en el tanque manteniendo un nivel de agua constante y en caso de haber un consumo recompensar dicho consumo y mantenerlo siempre al nivel deseado el cual es monitoreado desde el panel de control que nos muestra las curvas de respuesta de las variables que actúa en este control.

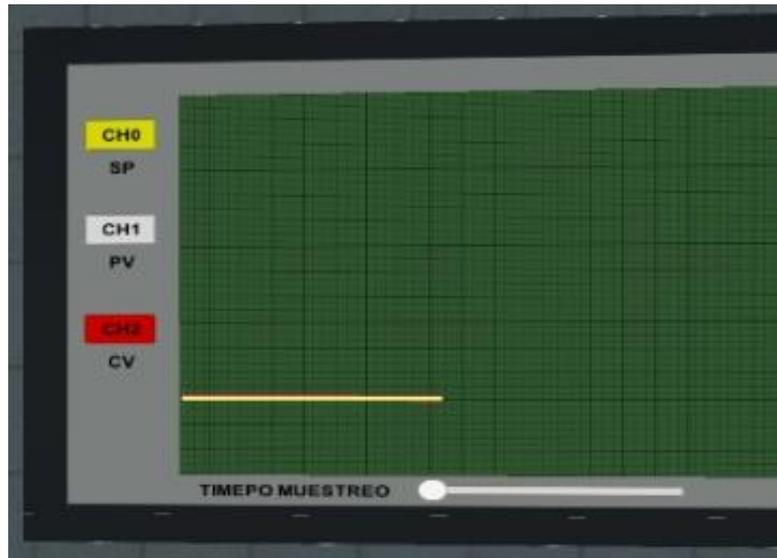


Figura 5.10. HMI de tendencias incorporado al sistema.

Este control se comunicó satisfactoriamente enviando señales entre el motor gráfico Unity3D y el PLC enviando señales de 0 a 5V mediante la tarjeta de adquisición de datos que internamente acondiciona esta señal de voltaje tanto a la salida como a la entrada.

A continuación se muestra las curvas de respuesta de control del nivel del tanque.

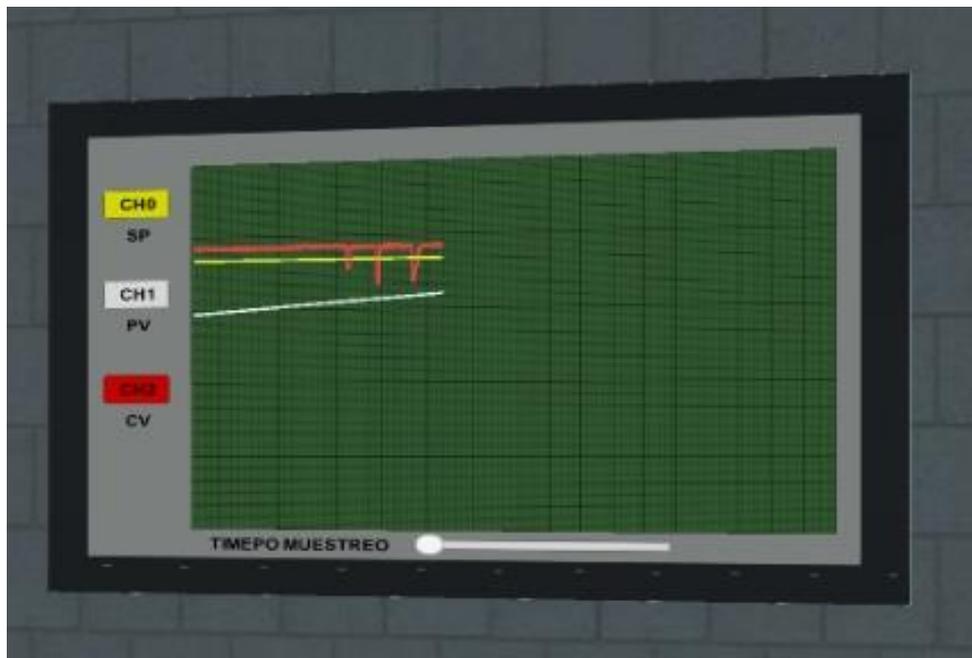


Figura 5.11. Visualización en primera persona de curvas de respuesta del control P&ID.

En la figura 5.10 se visualiza las tendencias de las curvas en respuesta del control P&ID. Fijado el Setpoint representado por curva de color amarillo, el Process value de color blanco asciende para llegar al nivel requerido y el Control Value representado de color rojo se encuentra en máximo, durante el proceso este ira disminuyendo conforme el Process Value esté llegando al punto deseado.

Desarrollo de la simulación del sistema contra incendio

En la figura 5.12. Se observa un incendio en la Zona 1 de la simulación en donde los aspersores reaccionan ante la presencia de fuego y la alarma de incendios, de esa manera se activan rociando gotas de agua sobre toda la zona de trabajo. Para apagar el fuego los aspersores cuentan con un sistema de partículas cada uno para tener el efecto de gotas de agua.



Figura 5.12. Visualización en primera persona del sistema contra incendio.

5.1.3. Características de la respuesta del sistema sometido a las gafas de inmersión

Mediante el software Oculus se configura los controles y el visor, se otorga permisos en este programa para acceder a la plataforma de animación y diseño Unity de esta manera ya tenemos enlazado los controles y el visor con el programa mediante el cual procedemos a adentrarnos en nuestro escenario. Con los controles touch se puede activar y desactivar bombas mediante botones que están ubicados en el tablero de control.



Figura 5.13. Interacción del usuario con el entorno inmersivo.

Simulación del cuarto de bombas

En esta parte de la interacción del sistema se obtiene el control del sistema mediante la inmersión de las gafas Oculus Rift S. A través de este periférico inmersivo se puede presionar botones mediante el control touch obteniendo así la activación y desactivación de las bombas existentes en esta estación de bombeo. Además se obtiene la visualización del encendido y apagado de las luces indicadoras al momento de accionar los botones de activación y suspensión de las bombas.

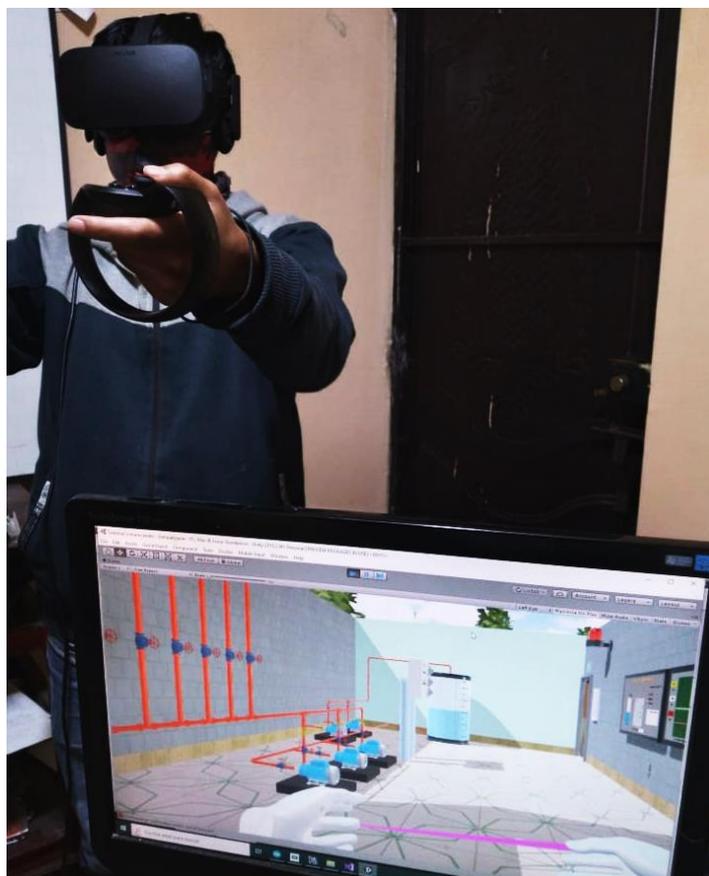


Figura 5.14. Integración del Oculus Rift S con el sistema de bombeo de agua.

Simulación del llenado tanque de agua

En esta parte del entorno se visualiza la zona donde está ubicado el tanque de suministro de agua de nuestro sistema. En el mismo se puede visualizar el nivel de agua con el que cuenta el tanque. Mediante las gafas de realidad virtual el usuario puede interactuar con la pantalla HMI para seleccionar el nivel del tanque que está, esto se lo hace al introducir con los controles touch en el HMI el valor del Setpoint que requerimos para el sistema.



Figura 5.15. Visualización de la integración del Oculus Rift S con el tanque del sistema.

Para este análisis se seleccionó en el Setpoint el valor de 99 lts, el mismo que puede variar de 0 lts como mínimo y de 200 lts como máximo. Al seleccionar el Setpoint el P&ID desarrollado para el control del nivel reflejara el mismo valor seleccionado en el tanque como se muestra en la figura 5.14.

Curvas de respuesta del proceso de nivel.

Dentro del entorno inmersivo al estar sujeto a la simulación principal del sistema el control del nivel de líquido en el tanque cumple la misma función de mantener un nivel de agua constante y en caso de haber un consumo recompensar dicho consumo y mantenerlo siempre al nivel deseado el cual es monitoreado desde el panel de control que nos muestra las curvas de respuesta expuestas anteriormente de las variables que actúa en este control.



Figura 5.16. Interacción del usuario con el HMI de tendencias.

A continuación se muestra las curvas de respuesta de control del nivel del tanque con lo periféricos de realidad virtual.



Figura 5.17. Visualización de las tendencias de respuesta del control P&ID.

En la figura 5.17, se visualiza las tendencias de las curvas en respuesta del control P&ID. Fijado el Setpoint representado por curva de color amarillo, el Process value de color blanco asciende para llegar al nivel requerido y el Control Value representado de color rojo se encuentra en máximo, durante el proceso este ira disminuyendo conforme el Process Value esté llegando al punto deseado.

Interacción con los tableros de control

Los tableros de control cuentan con botones y breakers, estos son accionados acercando los controles touch y presionando los mismos. En los tableros podemos realizar la acción de habilitar o deshabilitar todo el sistema, la acción de prender y apagar las diferentes bombas además de seleccionar el Setpoint deseado para el nivel del tanque y el tiempo de respuesta para las curvas de la variables del control de nivel.



Figura 5.18. Interacción del usuario y tableros de control del sistema.



Figura 5.19. Interacción del usuario y tableros de control del sistema.

Desarrollo de la simulación del sistema contra incendio

En esta parte del sistema podemos visualizar la zona 2 en la que el sistema contra incendio adentra en operación. En casos extremos por cualquier desperfecto de funcionalidad dentro del sistema a controlar en el que se produjera un incendio se activan los aspersores de modo automática visualizando de manera realista gotas de agua proveniente de ellos y haciendo que el fuego se extinga.

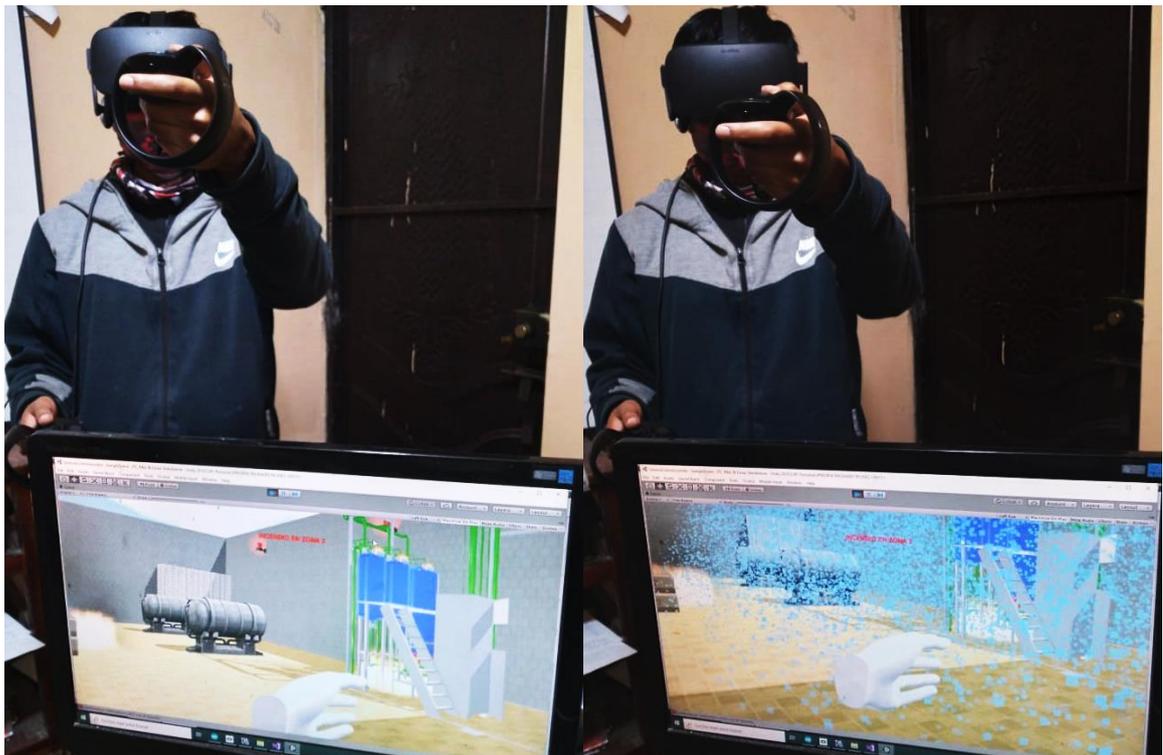


Figura 5.20. Visualización de la integración del Oculus Rift con el sistema funcional.

5.1.4. Características de la respuesta del sistema sometido a mantenimiento o fallas de bombas

Dentro de los procesos industriales los equipos, instrumentos, materiales y sistemas requieren mantenimiento o tienden a fallar en el momento que está en marcha el proceso.

Para este caso en la zona 1 se produce un incendio, de acuerdo al sistema de bombeo de agua entra en operación la bomba 1 como se muestra en la figura 5.21, pero se produce una falla técnica en dicha bomba, para remplazar esta bomba y extinguir el incendio en la zona 1 ingresa en operación la bomba 2 o 3 de acuerdo al orden de ejecución.

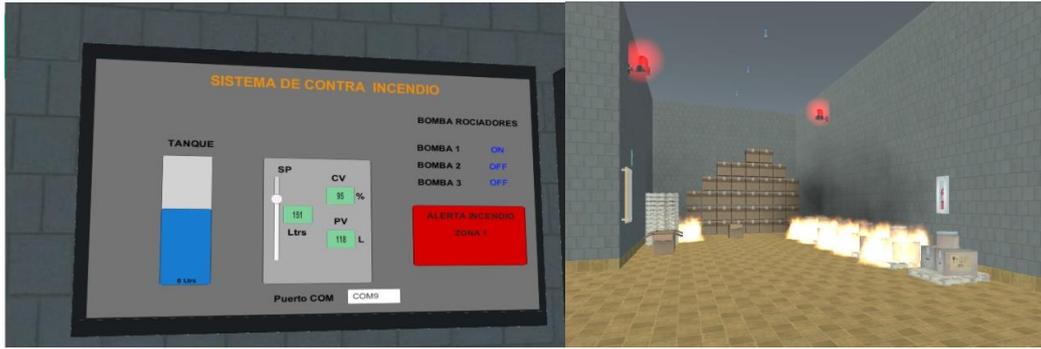


Figura 5.21. Simulación de incendio en zona 1.

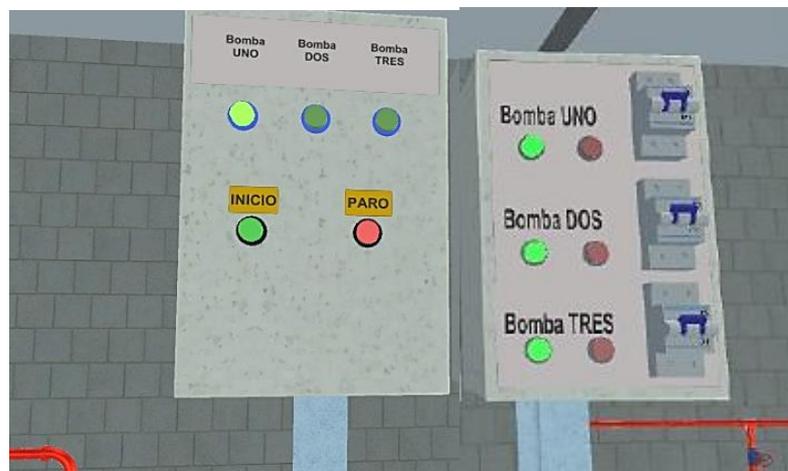


Figura 5.22. Funcionamiento de bomba 1 en zona 1.



Figura 5.23. Bomba 1 en falla recompensa bomba 2 en zona de incendio 1.

Para la zona 2 al ocurrir un incendio, de acuerdo al sistema de bombeo de agua y los sensores que detectan el incendio ingresa a operar la bomba 2 pero al estar el mantenimiento dicha bomba para recompensar a la bomba 2 entra en funcionamiento la bomba 1 o 3 de acuerdo a la orden de ejecución.



Figura 5.24. Simulación de incendio en zona 2.

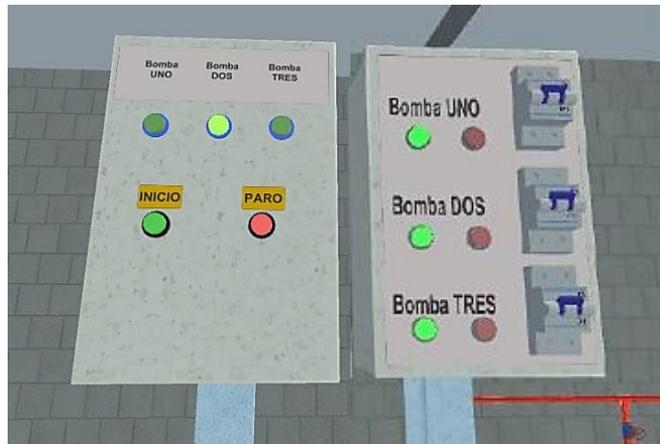


Figura 5.25. Funcionamiento de bomba 2 en zona 2.

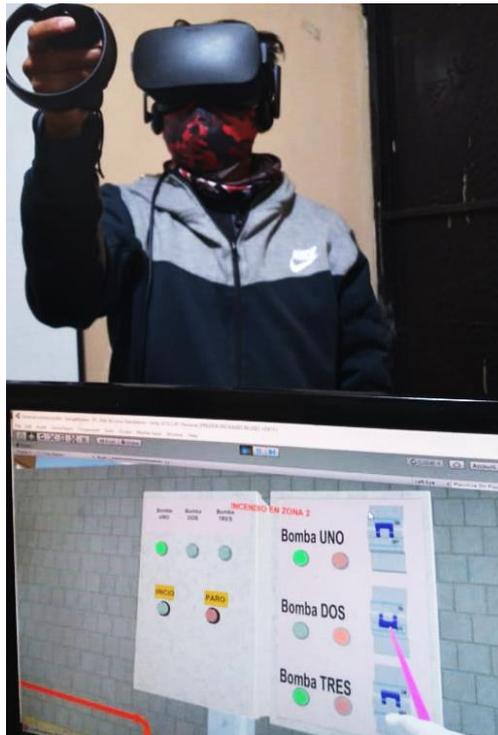


Figura 5.26. Bomba 2 en falla recompensa bomba 1 en zona de incendio 2.

5.1.5. Característica para la selección del controlador externo

Para la selección del controlador externo se tomó en cuenta la cantidad de sensores, actuadores y accionadores que contiene el sistema, para esto se desarrolló una tabla de especificaciones de entradas y salidas tanto analógicas como digitales llegan al resultado que el controlador externo para controlar nuestro sistema debe contar con:

- 9 entradas digitales.
- 6 salidas digitales.
- 2 entradas analógicas.
- 1 salida analógica.

5.2. Discusión de resultados

Los resultados del sistema de realidad virtual de la estación de bombeo y sistema contra incendio se discuten a partir de la metodología del diseño empleada para obtener el entorno inmersivo, periféricos para la interacción con el operador y la realización de las pruebas de funcionamiento.

5.2.1. Diseño y ensamble virtual de entorno inmersivo

- El diseño de la estación de bombeo de agua y sistema contra incendio, modelado en el software de diseño, genera un inconveniente para las plataformas de realidad virtual que debido a su alto peso virtual provoca desgaste al procesador del computador donde se ejecuta el simulado, Esto se debe a que un sólido de estas características muestra una alta saturación de polígonos en los objetos, esto se debe a que estos software detallan los volúmenes sólidos de cada elemento en las piezas y ensambles realizados.

5.2.2. Instalación de plataformas de realidad virtual

- Al construir el sistema e integrarlo con el dispositivo de realidad virtual se presentó la incompatibilidad en la conexión del Oculus Rift S con el ordenador, este error se presenta debido a la incoherencia de las versiones de los controladores con los del Oculus Rift S. Para resolver este problema de incompatibilidad se debió revisar el tipo de controlador de adaptadores de pantalla instalado en la computadora previamente a utilizar. Adicional a esto se debe revisar los requisitos recomendados para un funcionamiento eficaz que requiera, además para simular en entornos inmersivos en realidad virtual se requiere una computadora de altas prestaciones gráficas.
- Oculus resalta que el operador al interactuar con la visualización del entorno virtual por medio del dispositivo Oculus Rift S es perjudicial con la retina del ojo humano por el exceso de brillo, esto podría causar leves mareos al utilizar la plataforma. Para evitar estos síntomas de mareo el sistema se puede ejecutar sin utilizar las gafas Oculus Rift S, visualizando el entorno inmersivo por medio de la pantalla del computador.

6. PROSUPUESTO

6.1. Presupuesto

6.1.1. Directos

Tabla 6.1. Materiales.

RECURSOS	VALOR UNITARIO	CANTIDAD UNIDAD	VALOR TOTAL
Tarjeta de adquisición de datos	\$20.83	1	\$20.83
Caja para la tarjeta de adquisición de datos	\$30	1	\$30
Alquiler de computadora	\$150	1	\$150
Alquiler de gafas Oculus Rift S	\$150	1	\$150
	Total		\$350.83

Tabla 6.2. Costo de mano de obra.

PROGRAMADOR	HORAS DE PROGRAMACIÓN	VALOR POR HORA DE PROGRAMACIÓN	TOTAL TRABAJADOR
1	160h	\$2.66	\$425.60
		Total:	\$425.60

6.1.2. Indirectos

Tabla 6.3. Costos indirectos.

OTROS	TOTAL
Varios	\$64.40
Total	\$64.40

6.1.3. Costos totales

Tabla 6.4. Costos totales.

DETALLE DEL COSTO		VALOR
Directos	Materiales	\$350.83
	Mano de obra	\$425.60
INDIRECTO	Varios	\$64.40
Total		\$840.83

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- La investigación de estaciones de bombeo de agua y sistema contra incendio, nos permitió la selección de equipos, materiales y componentes necesarios para el diseño del entorno inmersivo.
- Para la modelación en 3D el software CAD Sketchup resultó ser óptimo para crear el diseño preliminar de la estación de bombeo y sistema contra incendios realizando el 80% de diseño tridimensional de equipos, accesorios, tuberías e instrumentos importantes para el desarrollo del entorno.
- El motor gráfico Unity 3D comprende una amplia gama de funciones que ayudan a completar el 20% faltante del diseño de la planta industrial y realizar el entorno virtual para la inmersión asemejándose a la realidad, este software nos permitió dar animación, movimientos y control que permitió el entrenamiento de operación del sistema de bombeo de agua y sistema contra incendio
- La integración del dispositivo Oculus Rift S al Unity3D permite al usuario controlar el accionamiento del sistema en un 100% interactuando de forma virtual, además mediante el controlador externo PLC S7 300 que consta de 3 módulos con entradas, salidas digitales y analógicas que está controlando el sistema adecuadamente enviando y recibiendo señales eléctricas de voltaje con un rango de 0 a 5V.

7.2. Recomendaciones

- Se recomienda a los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Ingeniería Electromecánica realizar estudios y proyectos de realidad virtual, para que de esa manera seguir escalando la pirámide de automatización partiendo del presente proyecto en los que se utilizó dispositivos controladores hasta llegar al último nivel de automatización.
- Se recomienda tener conocimientos de plataformas de realidad virtual para la creación de entornos inmersivos, esto ayudara a profundizar la integración, programación, configuración, control de animaciones, movimientos y sonidos al momento de interactuar con el unity3D.
- Se recomienda revisar los requisitos necesarios para la instalación del software Oculus Rift S debido a las incoherencias obtenidas en este trabajo, además se requerirá siempre de un computador de altas prestaciones graficas al ser una simulación de realidad virtual de un entorno inmersivo.
- Se recomienda revisar el número de entradas y salidas tanto analógicas como digitales para poder seleccionar un controlador externo que permita controlar de forma óptima todo el sistema.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. A. Romero, W. D. Quero, J. S. Sánchez, and V. H. Andaluz, “Training assistant for industrial processes through augmented reality,” *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, 2019, doi: 10.1145/3369255.3369295.
- [2] T. S. Mujber, T. Szecsi, and M. S. J. Hashmi, “Virtual reality applications in manufacturing process simulation,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 155–156, 2004, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2004.04.401.
- [3] D. C. C. Peixoto, R. F. Resende, and C. I. P. S. Pádua, “An educational simulation model derived from academic and industrial experiences,” *Proc. - Front. Educ. Conf. FIE*, 2013, doi: 10.1109/FIE.2013.6684914.
- [4] J. Amaquiña, “Desarrollo de un entorno de realidad virtual 3d con capacidad de inmersión que emule el lanzamiento y recepción de un raspador de tubería (PIG), orientado al entrenamiento dentro de la industria petrolera,” *Escuela Politecnica Nacional*, 2018.
- [5] A. Cardoso et al., “VRCEMIG: A virtual reality system for real time control of electric substations,” *Proc. - IEEE Virtual Real.*, 2013, doi: 10.1109/VR.2013.6549414.
- [6] R. Mauricio and P. Rai, “Sistema de control en cascada de la variable nivel para el aprendizaje de control de procesos,” *ESPE*, 2018.
- [7] W. X. Quevedo Pérez, “Implementar Un Esquema De Tele-Operación Para Un Robot Manipulador Móvil Maniobrado a Través De Dispositivos Hápticos, Para Incrementar La Transparencia Del Sitio Remoto, a Través De Entornos De Realidad Virtual Y Realidad Aumentada, En El Sitio Local,” *ESPE*, 2016.
- [8] V. Andaluz et al., “Unity3D Virtual Animation of Robots with Coupled and Uncoupled Mechanism,” vol. 1, no. ii, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-40621-3.
- [9] S. Tickoo, *AutoCAD Plant 3D 2018 for designers*, 4 Edition., vol. 53, no. 9. USA: AUTODESK, 2017.
- [10] COSUDE, “Guías Para El Diseño De Estaciones De Bombeo De Agua Potable,” *Organ. Panam. la Salud*, 2005.
- [11] J. Martinez Millan, S. Vignote, J. Martos, and D. Caballero, “Diseño de un Sistema

- Contra Incendio para una Empresa Productora de Cereales,” Guayaquil, Ecuador, 2017.
- [12] Molano Jeison and Rodriguez Luis, “Diseño del sistema contra incendios de extincion y deteccion Para La Facultad Tecnológica De La Universidad Distrital Francisco José De Caldas , Conforme a La Norma Nfpa Y la Nsr-10,” Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2017.
- [13] INEN Ecuador, “NTE INEN 440:1984 Colores de identificación de tuberías,” p. 11, 1984.
- [14] I. Training, “Pirámide de automatización,” 2020. <https://www.smctraining.com/es/webpage/indexpage/311> (accessed Jul. 10, 2020).
- [15] C. Smith and A. Corripio, Control automático de procesos: Teoría y práctica. 1991.
- [16] T. A. Oscar, ARDUINO Curso práctico de formación, Primera., vol. 6, no. 06. 2016.
- [17] “¿Qué es Arduino? | Arduino.” <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> (accessed Aug. 03, 2020).
- [18] O. Katsuhiko, Modern Control Engineering. .
- [19] “Unity3D.” <https://unity.com/es> (accessed Jul. 27, 2020).
- [20] J. M. D. L.-O. Garcia, “Entorno virtual para la simulación del comportamiento de los ciclistas en la ciudad,” Universidad Politécnica de Madrid, 2018.
- [21] P. Sarhadi and S. Yousefpour, “State of the art: hardware in the loop modeling and simulation with its applications in design, development and implementation of system and control software,” *Int. J. Dyn. Control*, vol. 3, no. 4, pp. 470–479, 2015, doi: 10.1007/s40435-014-0108-3.
- [22] M. Kasim and A. Jalil, “Introduction to Virtual Reality Technology,” *Mech. Eng.*, vol. 1, p. 22, 2005.
- [23] R. P. Narcís Parés, “Realidad virtual,” 2010, 2010. http://cv.uoc.edu/annotation/8ebfc11d61d9fb2feed41b629265e634/463715/PID_00150738/index.html (accessed Jul. 20, 2020).
- [24] J. Otegui Castillo, “La Realidad Virtual Y La Realidad Aumentada En El Proceso De Marketing,” *Rev. Dir. y Adm. Empres.*, vol. 1, no. 24, pp. 155–229, 2017.

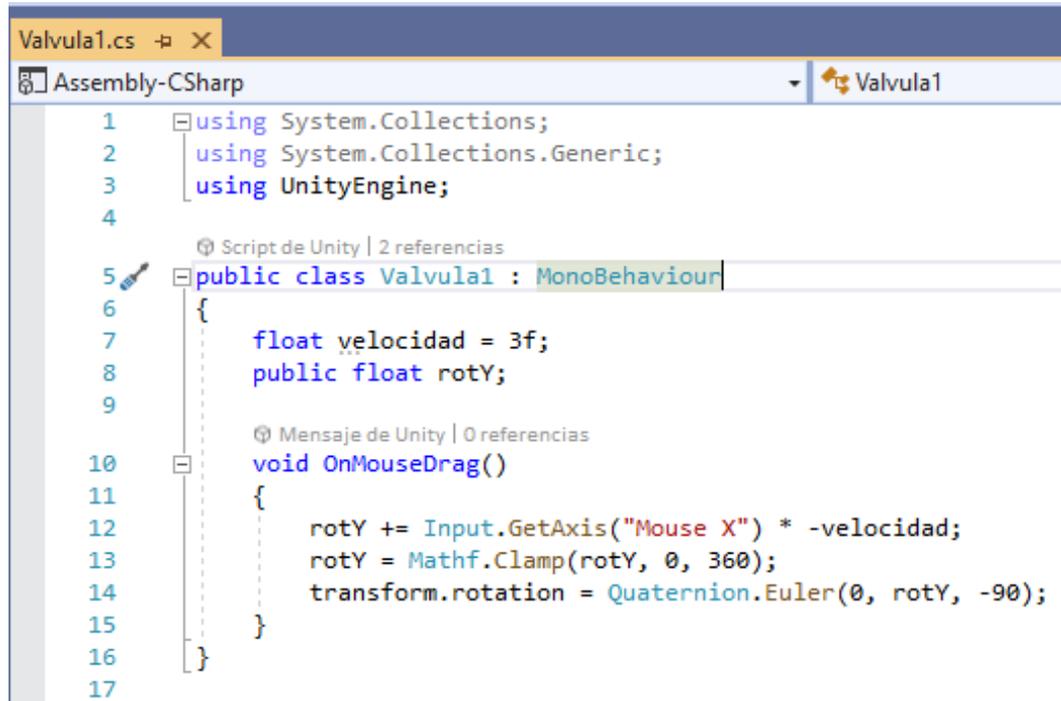
- [25] B. G and P. Coiffet, Virtual Reality Techonogy, 2nd ed. USA, 2003.
- [26] “Oculus Rift: VR Headset for VR Ready PCs | Oculus.” <https://www.oculus.com/rift/> (accessed Aug. 10, 2020).
- [27] “Oculus Setup: Rift S, Rift, Quest & Go | Oculus.” <https://www.oculus.com/setup/#rift-setup> (accessed Aug. 10, 2020).

ANEXOS

Anexo A: Control de animación del tanque.

```
Control.cs* -x tanke.cs Prenderbombas.cs
Assembly-CSharp Control
Script de Unity | 0 referencias
9 public class Control : MonoBehaviour
10 {
11     public GameObject Valvula1, Valvula2;
12     public GameObject Nivel;
13     public float h, dh, k1, a1, k2, g, A, to, k3, a2, a3;
14
15     Mensaje de Unity | 0 referencias
16     void Start()
17     {
18         k1 = 0.05f;
19         k2 = 0.015f;
20         k3 = 0.05f;
21         g = 9.8f;
22         A = 0.5f;
23         h = 0.1711816f;
24
25     Mensaje de Unity | 0 referencias
26     void FixedUpdate()
27     {
28         Valvula3 carga = Valvula1.GetComponent<Valvula3>();
29         //a2 = carga.rotZ / 360f;
30         a2 = Mathf.Round((carga.rotX) / 360f * 100f) / 100f;
31
32         Valvula4 carga1 = Valvula2.GetComponent<Valvula4>();
33         //a2 = carga.rotZ / 360f;
34         a3 = Mathf.Round((carga1.rotX1) / 360f * 100f) / 100f;
35
36         to = Time.deltaTime;
37         dh = (k1 * a1 - (k2 * (float)a2 + k3 * (float)a3) * Mathf.Sqrt(2 * g * h));
38         h += dh * to;
39
40         //nivel - 0 - 10 escala 0.001 - 0.1
41         Nivel.transform.localScale = new Vector3(0.1736613f, 0.1736613f, h);
```

Anexo B: Control de movimientos y animaciones de válvulas.



```
Valvula1.cs [X]
Assembly-CSharp Valvula1
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4
5 Script de Unity | 2 referencias
6 public class Valvula1 : MonoBehaviour
7 {
8     float velocidad = 3f;
9     public float rotY;
10
11 Mensaje de Unity | 0 referencias
12 void OnMouseDown()
13 {
14     rotY += Input.GetAxis("Mouse X") * -velocidad;
15     rotY = Mathf.Clamp(rotY, 0, 360);
16     transform.rotation = Quaternion.Euler(0, rotY, -90);
17 }
```

Anexo C: Animación y sonido de bombas en Unity3D.

```
Prenderbombas.cs  X
Assembly-CSharp  Prenderbombas

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4
5  public class Prenderbombas : MonoBehaviour
6  {
7
8      public AudioSource bomba;
9      public AudioClip clip;
10
11     Script de Unity | 0 referencias
12     void Start()
13     {
14         bomba.clip = clip;
15     }
16     Mensaje de Unity | 0 referencias
17     public void Update()
18     {
19         if (Input.GetKey(KeyCode.P))
20             bomba.Play();
21         if (Input.GetKey(KeyCode.O))
22             bomba.Stop();
23
24         Ray ray = Camera.main.ScreenPointToRay(Input.mousePosition);
25         RaycastHit hit;
26         if (Input.GetMouseButton(0))
27         {
28             if (Physics.Raycast(ray, out hit) == true && hit.transform.gameObject.tag == "Button1")
29             {
30                 bomba.Play();
31             }
32             if (Physics.Raycast(ray, out hit) == true && hit.transform.gameObject.tag == "Button5")
33             {
34                 bomba.Play();
35             }
36             if (Physics.Raycast(ray, out hit) == true && hit.transform.gameObject.tag == "Button0")
37             {
38                 bomba.Stop();
39             }
40         }
41     }
42     0 referencias
43     public void Encender()
44     {
45         bomba.Play();
46     }
47     0 referencias
48     public void EncenderAgua()
49     {
50         bomba.Play();
51     }
52 }
```

Anexo D: Animación de fuego y agua con sistemas de partículas.

```
Fuegocontrol.cs  Valvula1.cs
Assembly-CSharp
4  using UnityEngine;
5  using UnityEngine.UI;
6  using UnityEngine.UIElements;
7
8  Script de Unity | 0 referencias
9  public class Fuegocontrol : MonoBehaviour
10 {
11     public ParticleSystem fuego;
12
13     Mensaje de Unity | 0 referencias
14     public void Update()
15     {
16         if (Input.GetKey(KeyCode.P))
17             fuego.Play();
18         if (Input.GetKey(KeyCode.Q))
19             fuego.Stop();
20     }
21     0 referencias
22     public void Encender()
23     {
24         fuego.Play();
25     }
26     0 referencias
27     public void Apagar()
28     {
29         fuego.Stop();
30     }
31 }
```

Anexo E: Configuración del sistema de control.

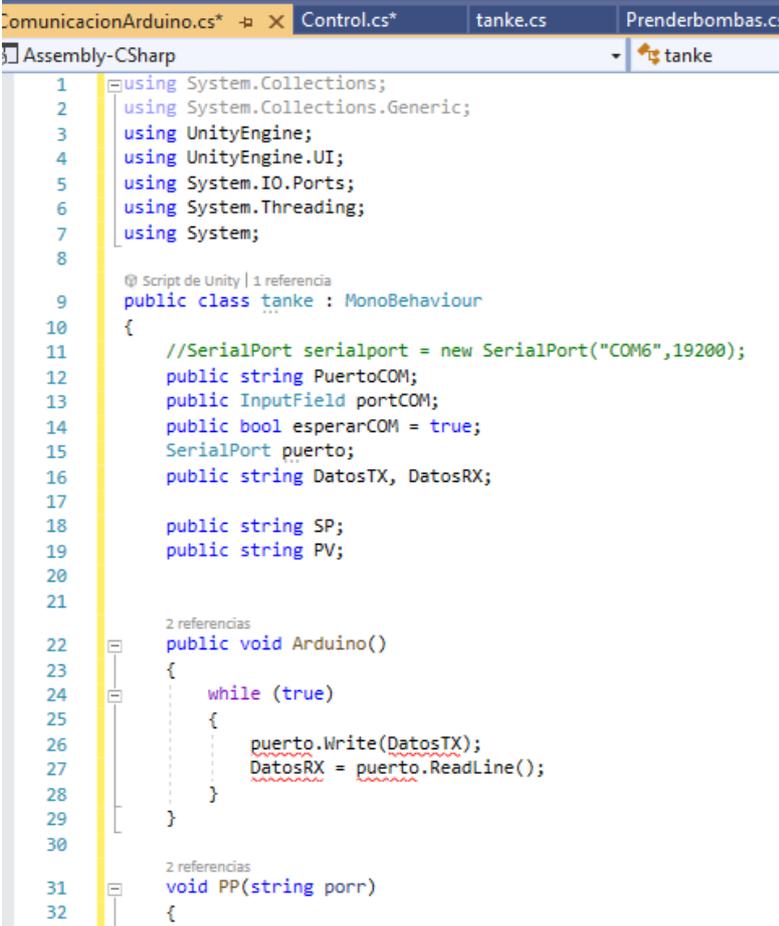
```
21  
22 Ray ray = Camera.main.ScreenPointToRay(Input.mousePosition);  
23 RaycastHit hit;  
24 if(Input.GetMouseButton(0))  
25 {  
26     if(Physics.Raycast(ray,out hit)==true && hit.transform.gameObject.tag=="Button1")  
27     {  
28         bomba.Play();  
29     }
```

Anexo F: Configuración del jugador en primera persona

```
Sis22.cs Fuegocontrol.cs Valvula1.cs
sembly-CSharp FPC
1  using JetBrains.Annotations;
2  using System.Collections;
3  using System.Collections.Generic;
4  using UnityEngine;
5
6  public class FPC : MonoBehaviour
7  {
8      public Camera camara;
9      float h;
10     float v;
11     void Start()
12     {
13     }
14
15     void Update()
16     {
17
18         h = 5f * Input.GetAxis("Mouse X");
19         v = 5f * Input.GetAxis("Mouse Y");
20
21         if (Input.GetKey(KeyCode.W))
22         {
23             transform.Translate(Vector3.forward * 3f * Time.deltaTime);
24         }
25
26         if (Input.GetKey(KeyCode.S))
27         {
28             transform.Translate(-Vector3.forward * 3f * Time.deltaTime);
29         }
30     }
31 }
```

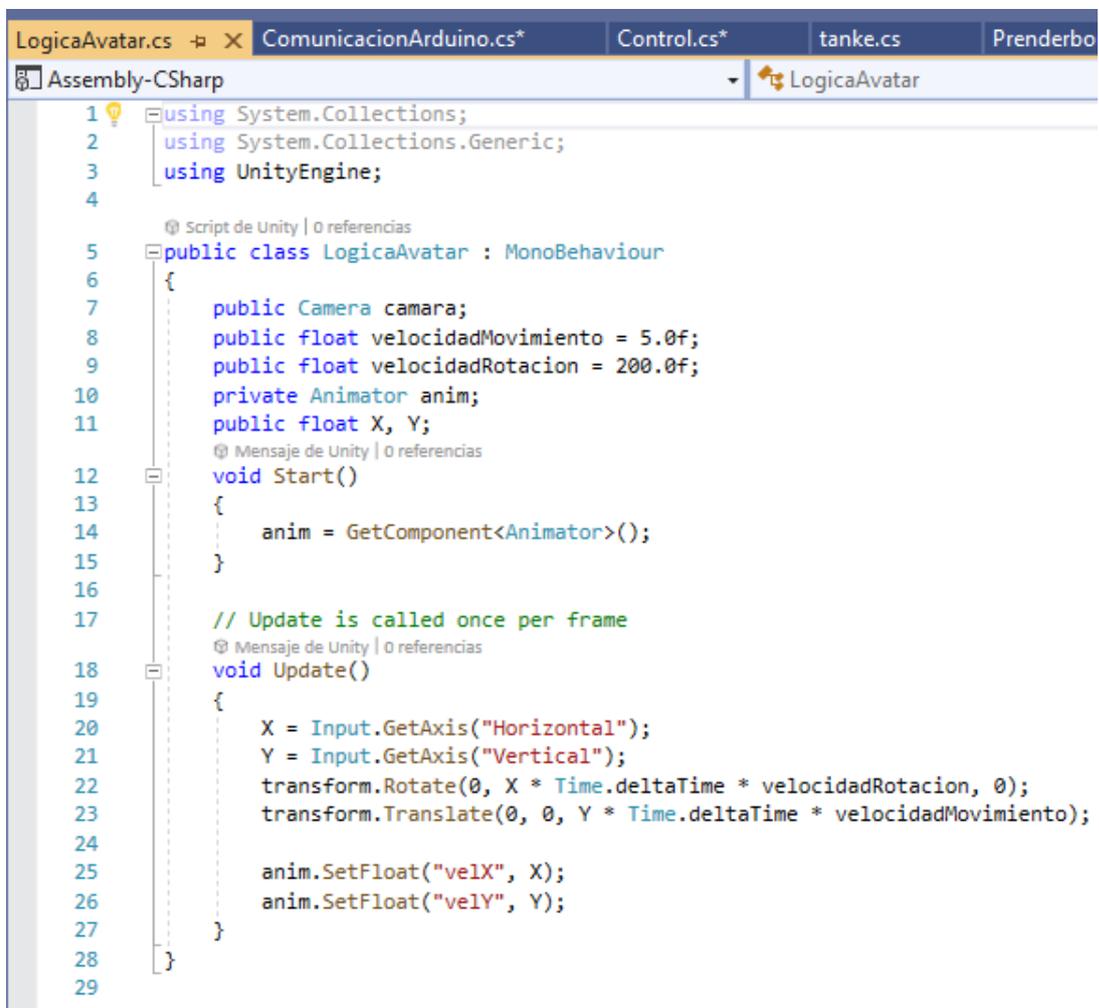
```
Sis22.cs Fuegocontrol.cs Valvula1.cs
sembly-CSharp FPC
30
31     if (Input.GetKey(KeyCode.A))
32     {
33         transform.Translate(Vector3.left * 1.5f * Time.deltaTime);
34     }
35
36     if (Input.GetKey(KeyCode.D))
37     {
38         transform.Translate(Vector3.right * 1.5f * Time.deltaTime);
39     }
40
41     if (Input.GetKey(KeyCode.UpArrow))
42     {
43         camara.transform.Rotate(Vector3.right, -30f * Time.deltaTime);
44     }
45
46     if (Input.GetKey(KeyCode.DownArrow))
47     {
48         camara.transform.Rotate(Vector3.right, 30f * Time.deltaTime);
49     }
50
51     if (Input.GetKey(KeyCode.LeftArrow))
52     {
53         transform.Rotate(Vector3.up, -30f * Time.deltaTime);
54     }
55
56     if (Input.GetKey(KeyCode.RightArrow))
57     {
58         transform.Rotate(Vector3.up, 30f * Time.deltaTime);
59     }
60
61 }
62 }
```

Anexo G: Configuración del jugador en tercera persona



```
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4 using UnityEngine.UI;
5 using System.IO.Ports;
6 using System.Threading;
7 using System;
8
9 @ Script de Unity | 1 referencia
10 public class tanke : MonoBehaviour
11 {
12     //SerialPort serialport = new SerialPort("COM6",19200);
13     public string PuertoCOM;
14     public InputField portCOM;
15     public bool esperarCOM = true;
16     SerialPort puerto;
17     public string DatosTX, DatosRX;
18
19     public string SP;
20     public string PV;
21
22     2 referencias
23     public void Arduino()
24     {
25         while (true)
26         {
27             puerto.Write(DatosTX);
28             DatosRX = puerto.ReadLine();
29         }
30
31     2 referencias
32     void PP(string porr)
33     {
```

Anexo H: Comunicación entre Unity3D y Arduino.



```
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4
5 public class LogicaAvatar : MonoBehaviour
6 {
7     public Camera camara;
8     public float velocidadMovimiento = 5.0f;
9     public float velocidadRotacion = 200.0f;
10    private Animator anim;
11    public float X, Y;
12    void Start()
13    {
14        anim = GetComponent<Animator>();
15    }
16
17    // Update is called once per frame
18    void Update()
19    {
20        X = Input.GetAxis("Horizontal");
21        Y = Input.GetAxis("Vertical");
22        transform.Rotate(0, X * Time.deltaTime * velocidadRotacion, 0);
23        transform.Translate(0, 0, Y * Time.deltaTime * velocidadMovimiento);
24
25        anim.SetFloat("velX", X);
26        anim.SetFloat("velY", Y);
27    }
28 }
29
```

```

33     PuertoCOM = porrr;
34 }
35 void Start()
36 {
37     portCOM.onEndEdit.AddListener(PP);
38 }
39 void Update()
40 {
41     if (esperarCOM && Input.GetKey(KeyCode.Return))
42     {
43         esperarCOM = false;
44         puerto = new SerialPort(PuertoCOM, 19200);
45         puerto.Open();
46         puerto.ReadTimeout = 80;
47         puerto.WriteTimeout = 80;
48         Thread sampleThread = new Thread(new ThreadStart(Arduino));
49         sampleThread.IsBackground = true;
50         sampleThread.Start();
51     }
52 }
53 void FixedUpdate()
54 {
55     DatosTX = "a" + SP + "a" + PV; //Trama de datos para enviar
56     try
57     {
58         string[] datosRecibidos = DatosRX.Split("a"[0]); //Trama de datos recibidos
59
60         CV = datosRecibidos[0].Replace(".", ",");
61         D = datosRecibidos[1].Replace(".", ",");
62     }
63     catch (Exception)
64     {

```

Arduino2Unity\$

```

String readString;
char c;

void setup() {
    Serial.begin(19200);
}
void loop() {
    //Envio de datos
    Serial.flush();
    Serial.print(cv);
    Serial.print('a');
    Serial.println(error);

    //Lectura de datos
    while (Serial.available()>0){
        c = Serial.read();
        readString += c;
    }
    if(readString.length()>0){
        indS1 = readString.indexOf('a');
        indS2 = readString.indexOf('a', indS1+1 );

        //S1 = readString.substring(0, indS1);
        sp = readString.substring(indS1+1, indS2);
        pv = readString.substring(indS2+1, indS3);
        readString="";
    }
    delay(20);
}

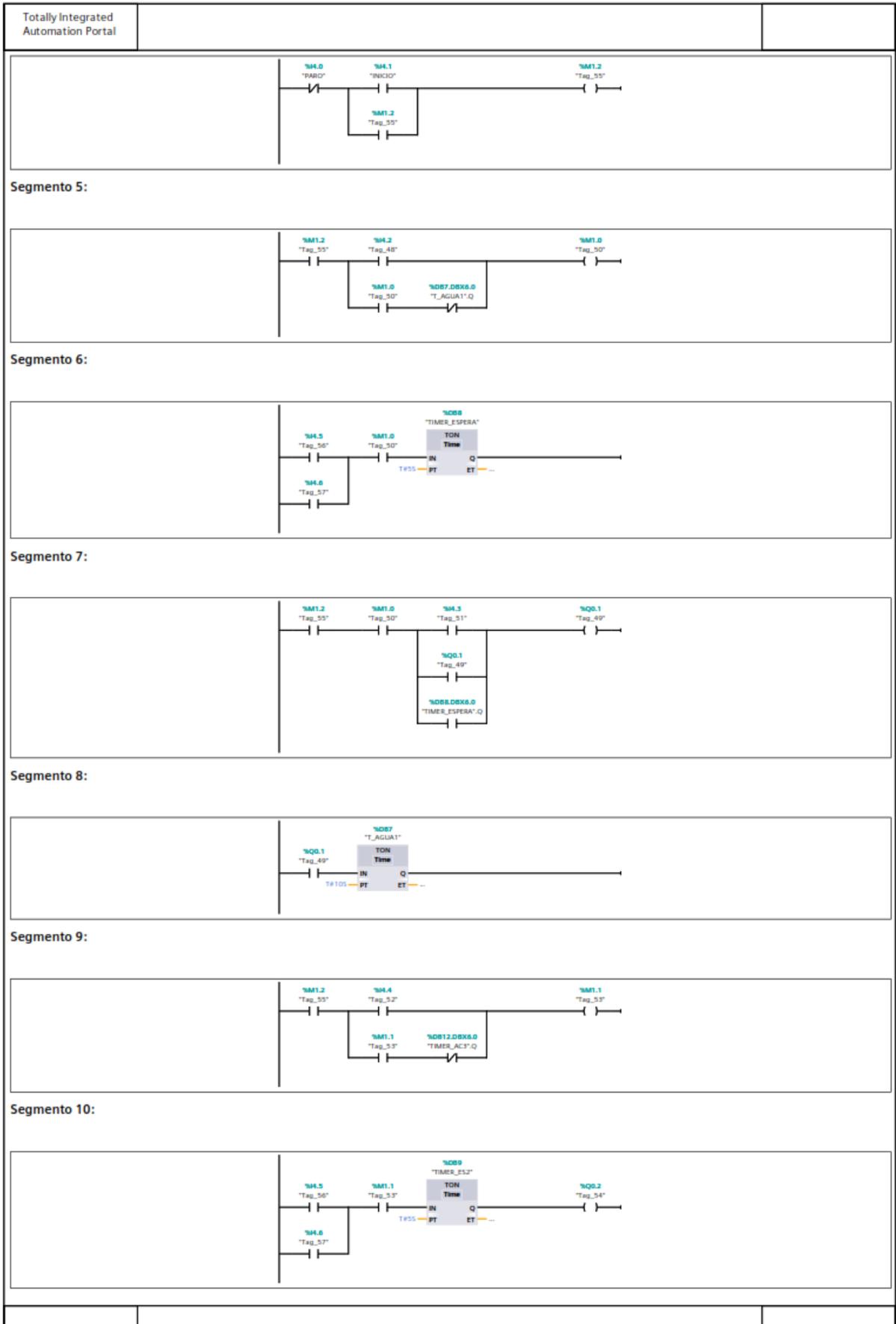
```

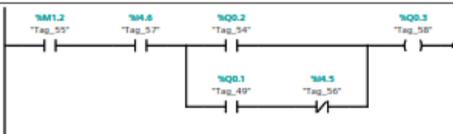
Anexo I: Integración del dispositivo Oculus Rift S en Unity3D.

```
alvula3.cs TouchScreenController.cs* X tanke.cs
Assembly-CSharp TouchScreenController Update()
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4
5 public class TouchScreenController : MonoBehaviour
6 {
7     public GameObject fingerTip;
8     bool isPointing;
9     bool isTouching;
10    Vector3 fingerTipforward;
11    float touchDistance;
12    public AudioSource bomba,bomba1;
13    public AudioClip clip;
14    public AudioSource ActivaSirena;
15    public AudioClip clip1;
16    void Start()
17    {
18        bomba.clip = clip;
19        bomba1.clip = clip;
20        ActivaSirena.clip = clip1;
21        fingerTipforward = fingerTip.transform.TransformDirection(Vector3.forward);
22        touchDistance = 0.005f;
23        isTouching = false;
24        isPointing = false;
25    }
26    void Update()
27    {
28        CheckIfPointing();
29        if (Physics.Raycast(fingerTip.transform.position, fingerTipforward, out RaycastHit ray, touchDistance))
30        {
31            Collider rayCollider = ray.collider;
```

Anexo J: Programación en Tia Portal control de bombas.

Totally Integrated Automation Portal					
ControlSistema / PLC_1 [CPU 315-2 DP] / Bloques de programa					
Main [OB1]					
Main Propiedades					
General					
Nombre	Main	Número	1	Tipo	OB
Numeración	Manual			Idioma	KOP
Información					
Título	"Main Program Sweep (Cycle)"	Autor		Comentario	
Versión	0.1	ID personalizada		Familia	
Main					
Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor predet.	Comentario	
▼ Temp					
OB1_EV_CLASS	Byte	0.0		Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1)	
OB1_SCAN_1	Byte	1.0		1 (Cold restart scan 1 of OB 1), 3 (Scan 2-n of OB 1)	
OB1_PRIORITY	Byte	2.0		Priority of OB Execution	
OB1_OB_NUMBR	Byte	3.0		1 (Organization block 1, OB1)	
OB1_RESERVED_1	Byte	4.0		Reserved for system	
OB1_RESERVED_2	Byte	5.0		Reserved for system	
OB1_PREV_CYCLE	Int	6.0		Cycle time of previous OB1 scan (milliseconds)	
OB1_MIN_CYCLE	Int	8.0		Minimum cycle time of OB1 (milliseconds)	
OB1_MAX_CYCLE	Int	10.0		Maximum cycle time of OB1 (milliseconds)	
OB1_DATE_TIME	Date_And_Time	12.0		Date and time OB1 started	
Constant					
Segmento 1:					
Segmento 2:					
Segmento 3:					
Segmento 4:					

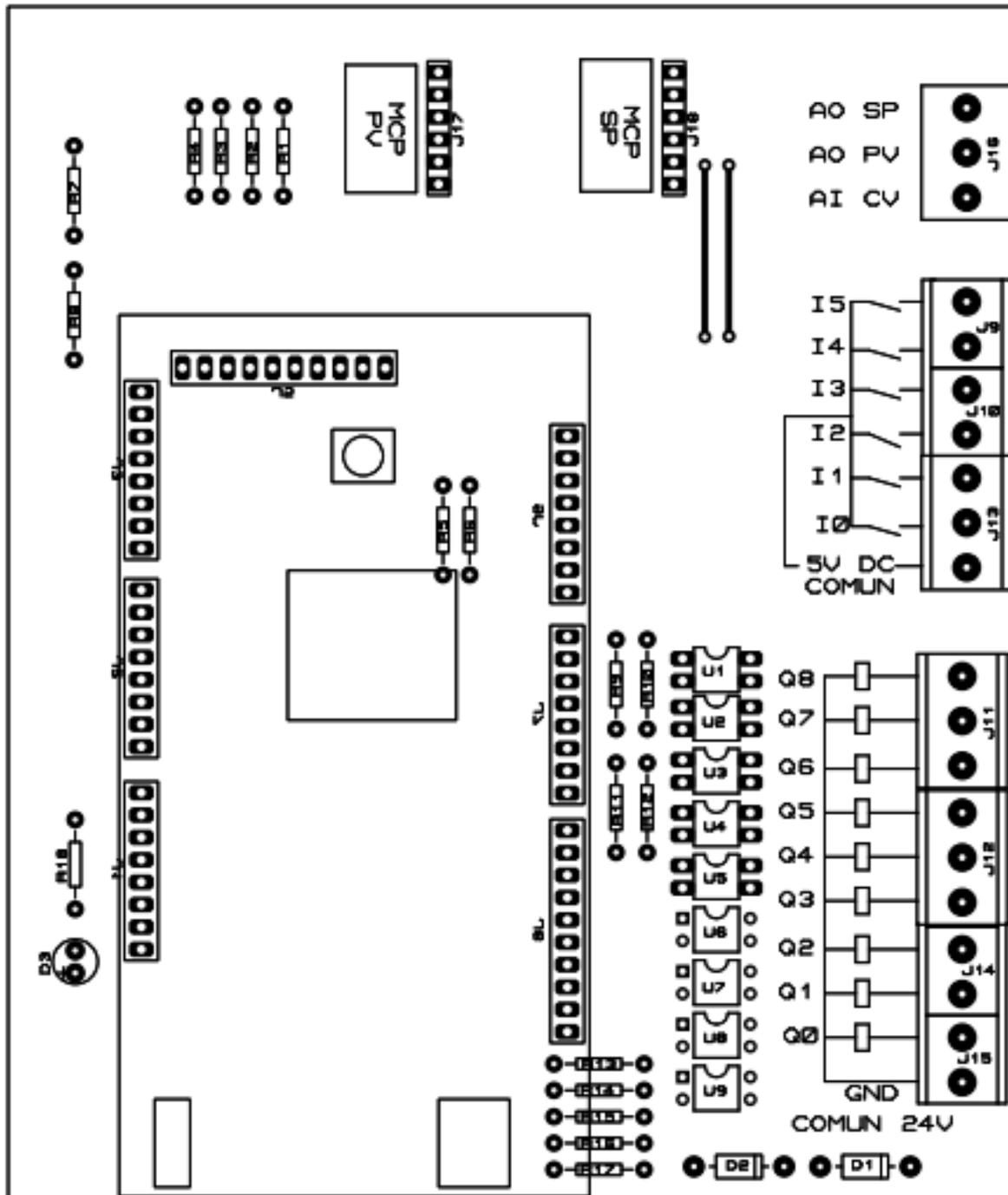


Totally Integrated Automation Portal		
Segmento 11:		
		
Segmento 12:		
		
Segmento 13:		
		
Segmento 14:		
		
Segmento 15:		
		
Segmento 16:		
		
Segmento 17:		
		

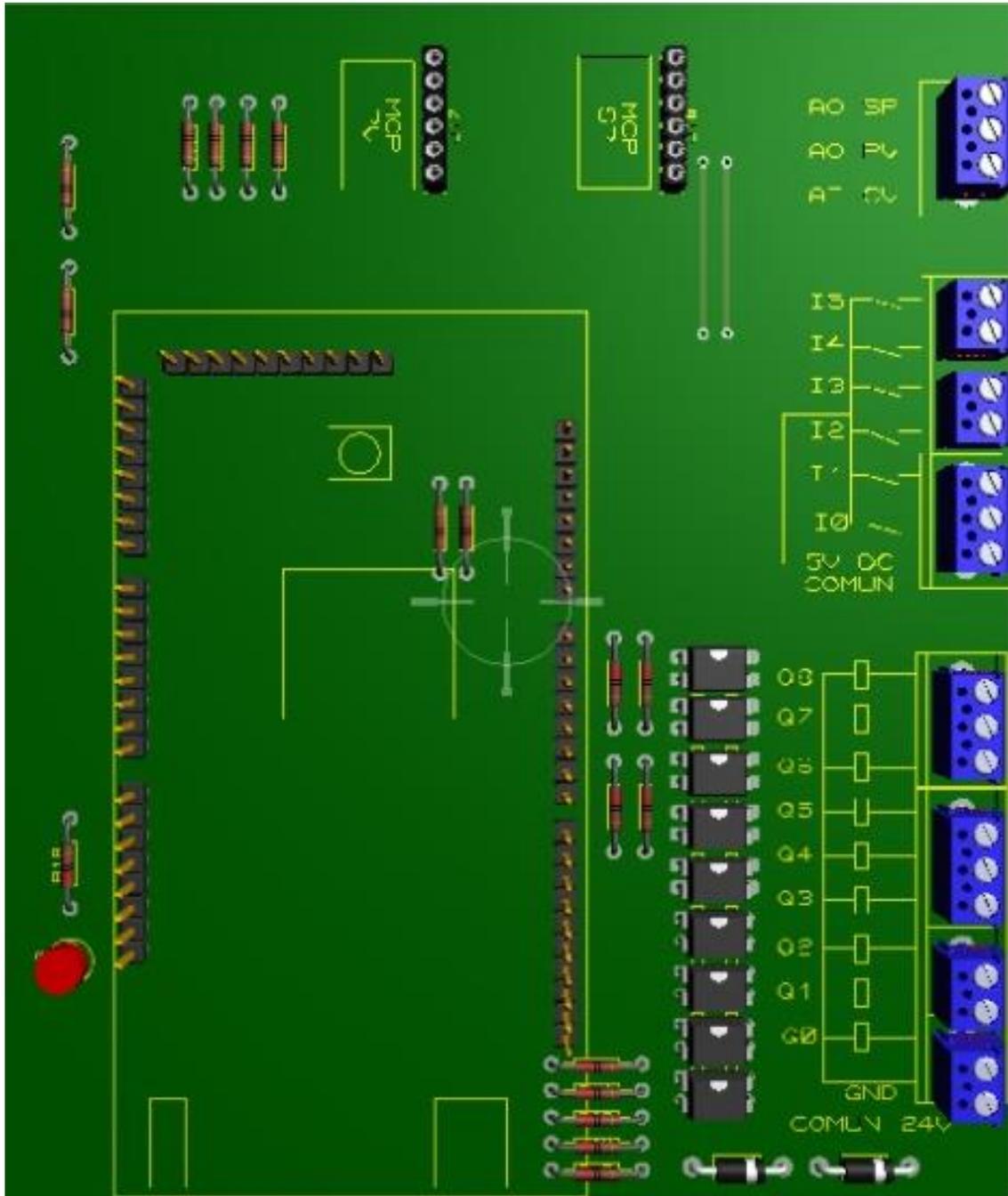
Anexo K: Programación en Tia Portal el PID

Totally Integrated Automation Portal							
ControlSistema / PLC_1 [CPU 315-2 DP] / Bloques de programa CYC_INT5 [OB35]							
CYC_INT5 Propiedades							
General							
Nombre	CYC_INT5	Número	35	Tipo	OB	Idioma	KOP
Numeración		Manual					
Información							
Título	"Cyclic Interrupt"	Autor				Comentario	Familia
Versión	0.1	ID personalizada					
CYC_INT5							
Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor predet.	Comentario			
▼ Temp							
OB35_EV_CLASS	Byte	0.0		Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1)			
OB35_STRT_INF	Byte	1.0		16#36 (OB 35 has started)			
OB35_PRIORITY	Byte	2.0		Priority of OB Execution			
OB35_OB_NUMBR	Byte	3.0		35 (Organization block 35, OB35)			
OB35_RESERVED_1	Byte	4.0		Reserved for system			
OB35_RESERVED_2	Byte	5.0		Reserved for system			
OB35_PHASE_OFFSET	Word	6.0		Phase offset (msec)			
OB35_RESERVED_3	Int	8.0		Reserved for system			
OB35_EXC_FREQ	Int	10.0		Frequency of execution (msec)			
OB35_DATE_TIME	Date_And_Time	12.0		Date and time OB35 started			
Constant							
Segmento 1:							
<p>The diagram shows a ladder logic network for Segment 1. It features a central block labeled 'CONT_C' with a 'NOBS' and 'CONT_C_DB' header. The block has several inputs on the left and outputs on the right. Inputs include: 'EN' (ENI), 'COM_RST' (NO), 'MAN_ON' (NO), 'PVER_ON' (NO), 'P_SEL' (NO), 'L_SEL' (NO), 'INT_HOLD' (NO), 'LTL_ON' (NO), 'D_SEL' (TRUE), 'CYCLE' (T#100M5), 'SP_INT' (MAD16, Tag_31), 'PV_IN' (0.0), 'PV_PER' (M#288-P, Tag_28-P), 'MAN' (0.0), 'GAIN' (20.0), 'TI' (T#20S), 'TD' (T#10S), 'TM_LAG' (T#2S), 'DEADB_W' (0.0), 'LMN_LIM' (100.0), 'LMN_LIM' (0.0), 'PV_FAC' (1.0), 'PV_OFF' (0.0), 'LMN_FAC' (1.0), 'LMN_OFF' (0.0), 'LTLVAL' (0.0), and 'DISV' (0.0). Outputs include: 'ENO' (NO), 'LMN' (MAD13, Tag_23), 'LMN_PER' (M#288-P, Tag_42-P), 'QLMN_HLM' (MAD14, Tag_24), 'LMN_P' (MAD25, Tag_25), 'LMN_L' (MAD23, Tag_26), 'LMN_D' (MAD31, Tag_27), 'PV' (SALL_PV), and 'ER'.</p>							
Segmento 2:							
<p>The diagram shows a ladder logic network for Segment 2. It features a central block labeled 'ROUND' with a 'Real to Dint' header. The block has two inputs on the left and two outputs on the right. Inputs are 'EN' (ENI) and 'IN' (MAD29, Tag_29). Outputs are 'ENO' (NO) and 'OUT' (MAD5, Tag_29).</p>							

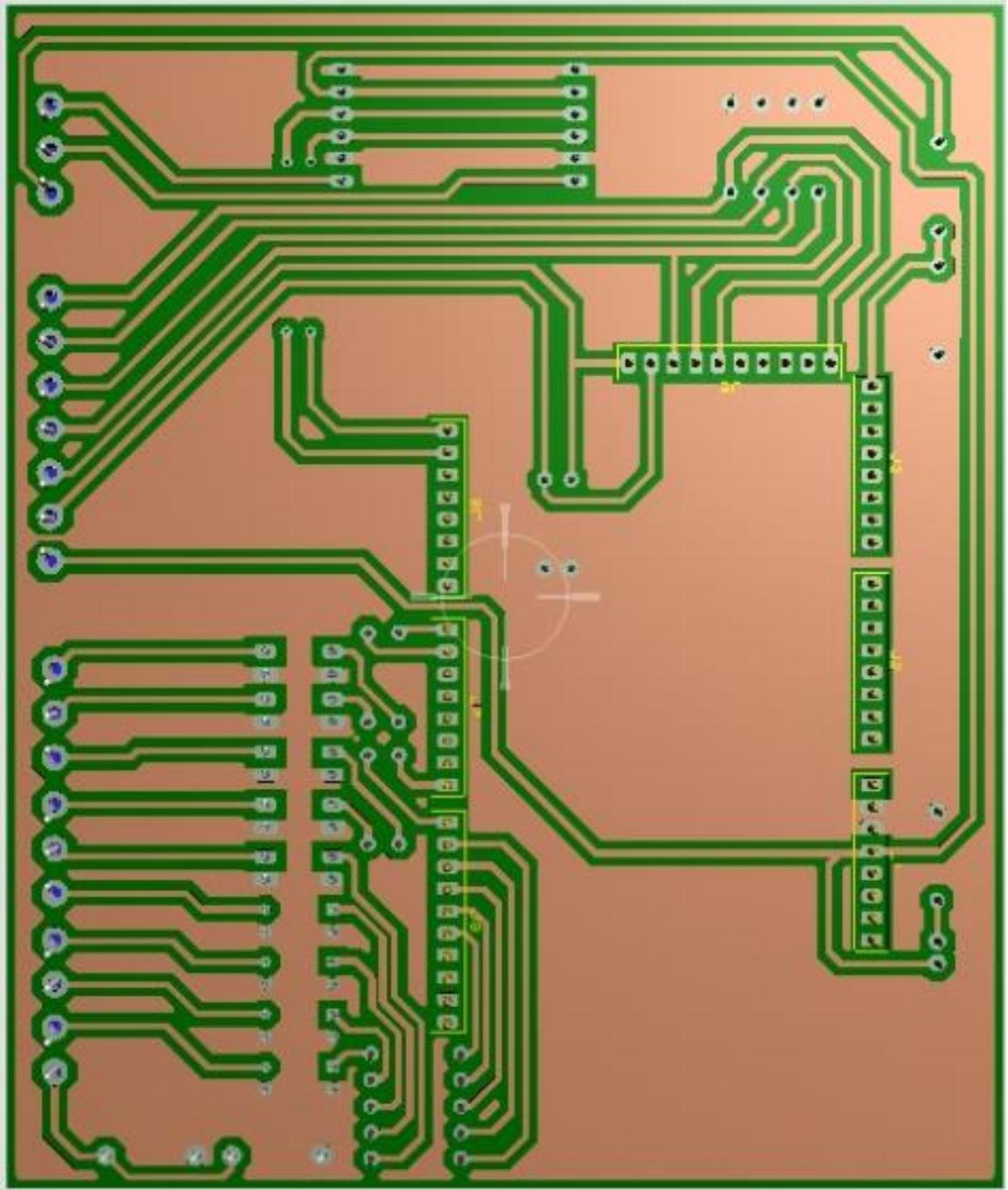
Anexo L: Diseño de la tarjeta de adquisición de datos



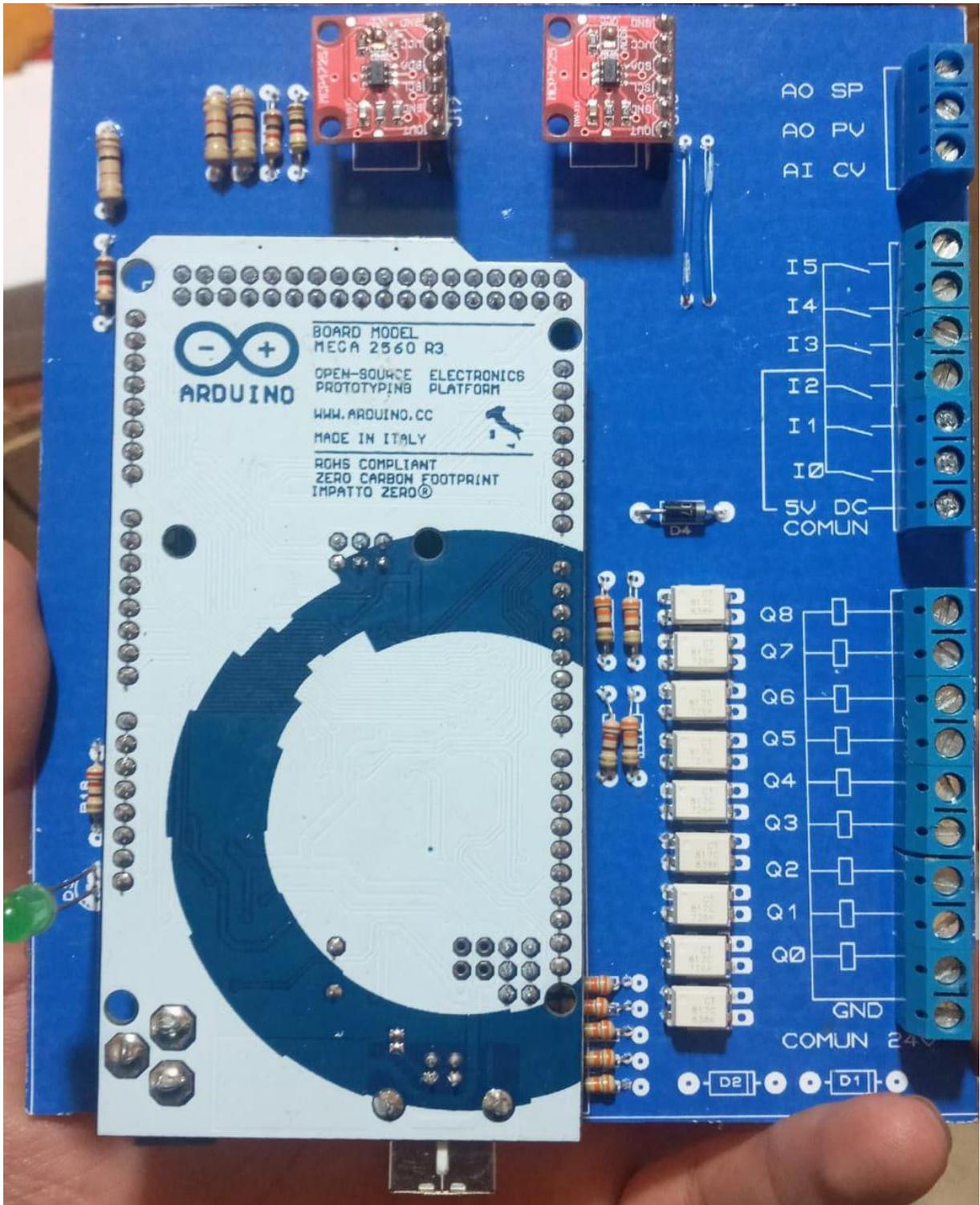
Anexo M: Diseño de la tarjeta de adquisición de datos



Anexo N: Diseño de la tarjeta de adquisición de datos



Anexo O: Diseño de la tarjeta de adquisición de datos



Anexo P: Diseño de la tarjeta de adquisición de datos terminada



MANUAL DE USUARIO Y GUÍAS PRÁCTICAS

Manual de usuario

1.	Requisitos para desarrollo del sistema	2
1.1	Requerimientos hardware	2
1.2	Requerimiento Software	3
1.3	Requisitos de trabajo.....	3
2.	Software para desarrollo.....	4
2.1	Software para modelación	4
2.2	Unity 3D	4
2.3	Visual Studio.....	5
2.4	Arduino	5
2.5	Oculus Rift S.....	6
3.	Plataformas de trabajo	7
3.1	Software CAD.....	7
3.2	Unity 3D	9
3.3	Interfaz con la tarjeta de adquisición de datos	16
3.4	Características para la selección del controlador externo	17
4.	Configuración para Realidad Virtual	20
4.1	Configurar las Gafas Oculus Rift S	20
4.2	Configuración sensores y mandos Oculus	21
4.3	Configuración área de trabajo	22
4.4	Tamaños del sistema guardián	23
4.5	Restablecer el sistema guardián	24
5.	Operación del proceso	24

1. Requisitos para desarrollo del sistema

El desarrollo del entorno inmersivo para el entrenamiento de operación de estación de bombeo de agua y sistema contra incendio, necesita de varias especificaciones preliminares tanto de hardware como de software para un correcto desarrollo del sistema y la interacción en forma inmersiva.

1.1 Requerimientos hardware

Para el desarrollo con la realidad virtual se utiliza recursos de alta gama en tecnología. Estas especificaciones necesarias se detallan en la siguiente tabla:

Especificaciones necesarias	
Procesador	Intel i3-6100/AMD Ryzen 3 1200, FX4350 o superior
Tarjeta grafica	NVIDIA GTX 1050 Ti/AMD Radeon RX 470 o superior
Tarjeta gráfica alternativa	NVIDIA GTX 960 4GB/AMD Radeon R9 290 o superior
Memoria	8 GB de RAM o más
Disco duro	Disco HDD de 512 Gb o Disco SSD de 512 Gb
Sistema operativo	Windows 10
Puerto USB para Rift	Puertos USB 3.0 y puertos USB 2.0
Salida de video (Rift)	Salida de vídeo HDMI 1.3 compatible

Los requisitos especificados en la tabla anterior corresponden a un computador de gama media.

Además de las especificaciones necesarias para el desarrollo de realidad virtual, dentro de las especificaciones de hardware se especifica los requisitos mínimos de periféricos de entrada y salida incluyendo los periféricos para realidad virtual en la siguiente tabla:

Periféricos de entradas y salidas	
Teclado	1
mouse	1
Pantalla	1
Puertos USB	6

Puerto de entrada HDMI	1
Puerto Virtual Serial Port	1
Periféricos para la realidad virtual	
Visor Oculus Rift S	1
Mandos de control Touch	2
Sensores de espacio	2
Módulo de tarjeta de adquisición de datos	1

1.2 Requerimiento Software

Los requerimientos en software para el desarrollo de modelación, programación y simulación para el funcionamiento de la aplicación se detallan en la siguiente tabla:

Software CAD
Unity 2019.2.0
Visual Studio 2019
Arduino IDE 1.8.10.
Tia Portal v15
Oculus Rift S

1.3 Requisitos de trabajo

Las dimensiones recomendadas para la zona de trabajo utilizando las gafas de realidad virtual son de 2 metros a la redonda del usuario, este espacio debe ser el mínimo para poder remarcar la zona de trabajo. Además la separación entre sensores de espacio debe ser como mínima de 1.5m y deberán estar de forma horizontal en referencia entre sensores.

Los mandos de control debe ser manejados con las manos del usuario, cada uno de estos mandos se acoplara a cada mano del usuario sea derecha como izquierda, además esto ayudara al usuario a movilizarse y manipular en entorno inmersivo desarrollado.

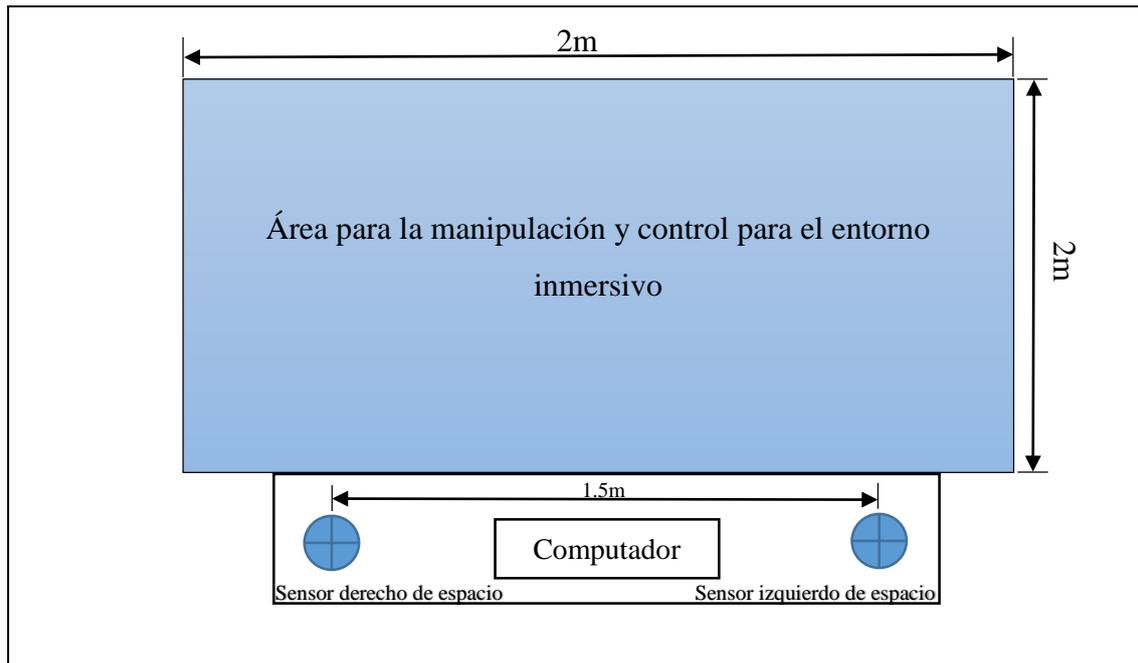


Figura 1. Medidas de zona de trabajo para el entorno de realidad virtual.

2. Software para desarrollo

En esta sección se describirá todos los programas que se utilizaran para el desarrollo del entorno de realidad virtual.

2.1 Software para modelación

Para realizar el diseño de la infraestructura, instrumentos, equipos y materiales entre otros se debe utilizar software de diseño CAD, estos software de diseños debe permitir la integración de las diferentes disciplinas en el diseño 3D. Para el área de ingeniería de diseño se encuentra el software AutoCAD Plant 3D que es utilizado para la generación de P&ID, equipos y materiales de tuberías e instrumentos y planos de gran calidad.

2.2 Unity 3D

Para instalar el software Unity3D se debe ingresar a la página oficial de Unity <https://store.unity.com/es/#plans-individual>, para posteriormente descargar el software con la versión que sea necesaria en los requisitos. A continuación seguimos los pasos de instalación.

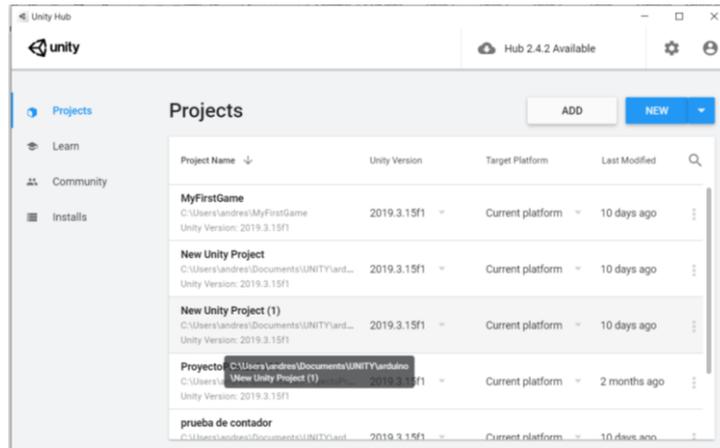


Figura 2. Interfaz gráfica Unity3D.

2.3 Visual Studio

El software con el que se realiza la programación en la interfaz de Unity es Visual Studio, mediante este software se realiza la programación orientada a objetos con programación fuente en C++. Para la instalación se debe realizar la descarga en su página oficial <https://visualstudio.microsoft.com/es/downloads/>.

Para instalar este software de programación se le dará permisos de usuario y luego se acepta y damos en siguiente a todas las indicaciones que establece este software.

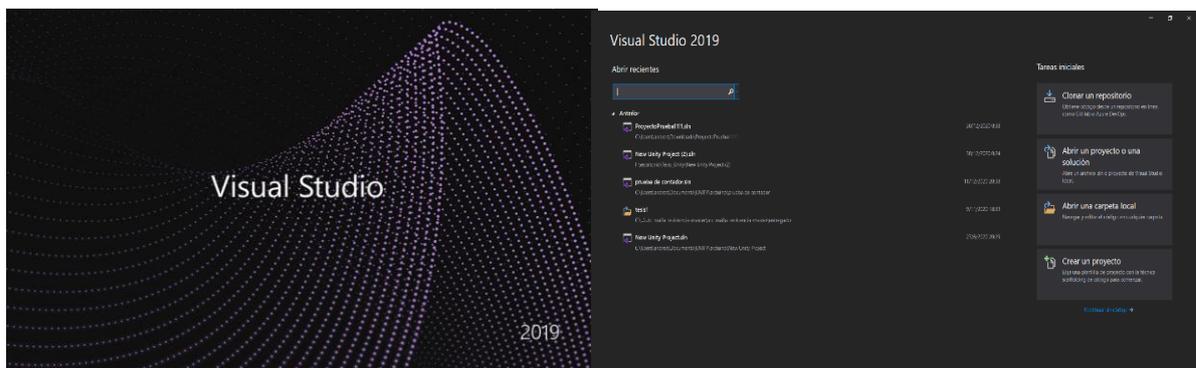
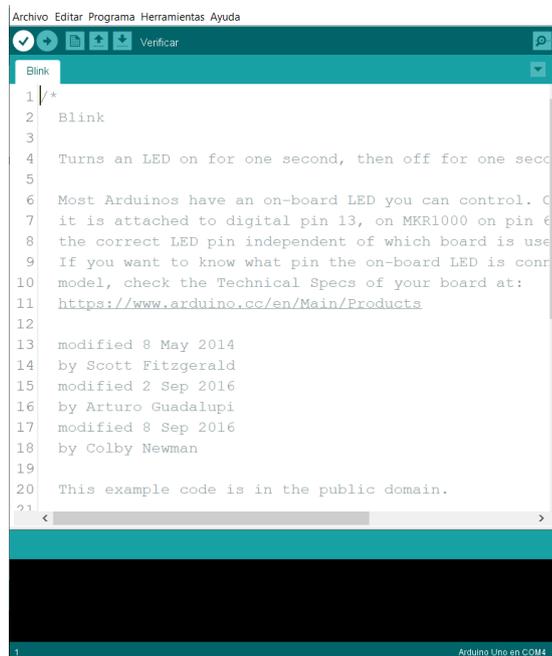


Figura 3. Entorno de programación en Visual Studio.

2.4 Arduino

El software Arduino IDE es de dominio libre, esta plataforma se la descarga desde su página oficial <https://www.arduino.cc/en/software>. Para la programación de Arduino se puede realizar en cualquiera de sus versiones como son: uno, mega, nano, etc.

Para la instalación de este software primero se debe ubicar la carpeta de descarga, a continuación se debe dar doble clic sobre el icono de aplicación, se concederá todos los permisos de usuario y aceptar todos los pasos de instalación.



```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Blink
1 // *
2 Blink
3
4 Turns an LED on for one second, then off for one second.
5
6 Most Arduinos have an on-board LED you can control. On the
7 it is attached to digital pin 13, on the MKR1000 on pin 6. Check
8 the correct LED pin independent of which board you are using:
9 If you want to know what pin the on-board LED is connected to
10 model, check the Technical Specs of your board at:
11 https://www.arduino.cc/en/Main/Products
12
13 modified 8 May 2014
14 by Scott Fitzgerald
15 modified 2 Sep 2016
16 by Arturo Guadalupi
17 modified 8 Sep 2016
18 by Colby Newman
19
20 This example code is in the public domain.
21
```

Arduino Uno en COM4

Figura 4. Programa arduino IDE.

2.5 Oculus Rift S

Para instalar el software se debe ingresar a la página oficial <https://www.oculus.com/setup/#rift-s-setup>, este es un software propietario y definido por las gafas de realidad virtual que se van a emplear. Dentro de la plataforma se puede seleccionar la versión a descargar, a continuación se debe seguir los pasos de instalación.



Figura 5. Componentes de gafas Oculus Rift S.

3. Plataformas de trabajo

Para el desarrollo del entorno inmersivo para el entrenamiento de operación de estación de bombeo de agua y sistema contra incendio se debe conocer los diferentes entornos de cada uno de los software que se utiliza para el desarrollo.

3.1 Software CAD

El primer entorno para el desarrollo del entorno inmersivo es un software CAD, dentro de los software CAD se puede realizar el diseño en el software que sea más capacidad tenga el usuario para realizar modelos 3D.

Para el desarrollo de la estación de bombeo de agua y sistema contra incendio dentro de las partes importantes para el funcionamiento del sistema se encuentran:

- La planta industrial.

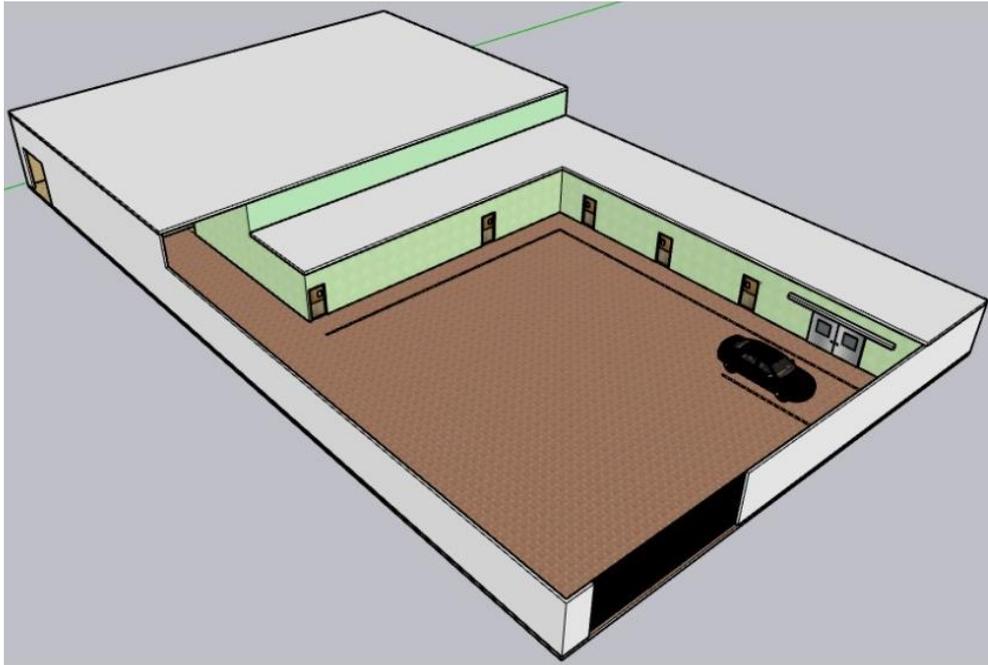


Figura 6. Diseño preliminar del modelo 3D del entorno.

- Fuente de abastecimiento: Recipientes de almacenamiento del agente extintor, tales como tanques.
- Equipo de bombeo: Una unidad propulsora del agente extinguidor, ya sea una bomba hidráulica, un propulsor, un proporcionador, etc.
- Tubería de succión e impulsión: Tuberías o conductos para transportar el agente hasta la zona de incendio
- Rociadores: Boquillas, rociadores que sirven como medio para apuntar o esparcir a una zona específica el agente extinguidor.
- Tableros y sistemas de control: Mecanismos para activar el disparo del agente extintor tales como bulbos de rociadores, módulos eléctricos, bombas.
- Área para operadores: Pantallas HDMI en las que se visualiza las tendencias del sistema y selección de parámetros de SetPoint y la conexión de comunicación con la tarjeta de adquisición de datos.

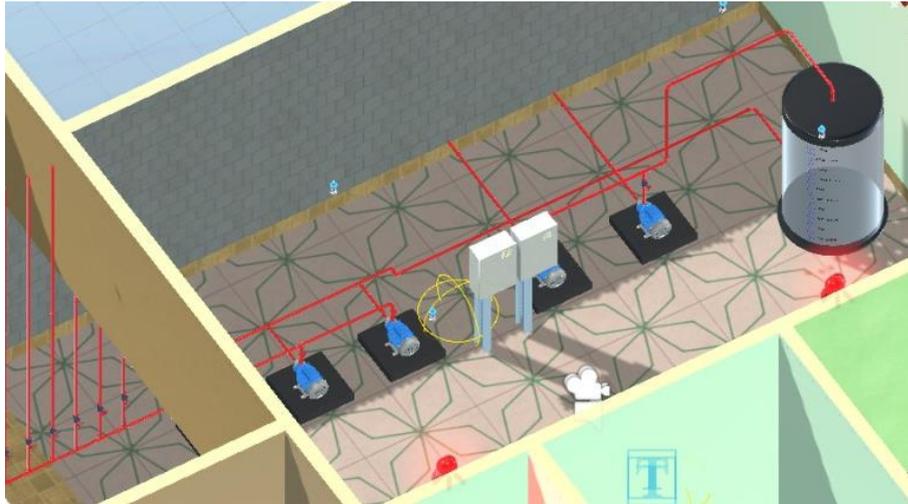


Figura 7. Diseño del sistema de bombeo y sistema contra incendio.

3.2 Unity 3D

Dentro del software Unity 3D se realiza la virtualización de los objetos exportados del software CAD, en donde se le da a los objetos animación, textura, color y además con la interfaz del Software Visual Studio se realiza la programación con el lenguaje Csharp de cada uno de los objetos.



Figura 8. Exportación del diseño del sistema en FBX.

Configuración de puntos de rotación

Estos puntos se deben configurar según las necesidades del proyecto en cada objeto que requiera de movimiento. Puntos pivote sobre el cual queremos que se muevan o roten los objetos. Esta acción se lo realiza de la siguiente forma:

1. Dando click en la pestaña de herramientas, seleccionar los iconos pivote; local; rotate tool, teniendo eso en cuenta pasamos a crear un script para configurar el punto de rotación utilizando Visual Studio. En este caso configuramos los puntos de rotación en válvulas y puertas.
2. Una vez creado el script arrastramos sobre el objeto que será controlado.



Figura 9. Punto de rotación.

Asignación de materiales, texturas e iluminación en la plataforma Unity3D

Dentro del entorno virtual en Unity3D una vez colocado el modelo en la escena se configura y se asigna los materiales a cada objeto individualmente, además se configura la iluminación del entorno. Para obtener estos efectos de calidad gráfica se procede de la siguiente forma:

1. Se crea una carpeta en el apartado assets con el nombre de materiales, en la misma se designa materiales los cuales nos servirán para dar color, textura y transparencia a todos los objetos del escenario permitiéndonos obtener una mejor visión y realismo de los objetos.



Figura 10. Asignación de materiales y texturas.

Sonido de bombas en Unity3D

En Unity3D para animar bombas se requiere insertar un sonido y efectos a la misma, con la finalidad de darle una impresión realista al usuario. Para realizar estos efectos se lo realiza de la siguiente forma:

1. Mediante un script se le da condiciones para realizar el encendido y apagado de bombas. Además se lo puede controlar añadiendo el componente Audio Source, el cual contiene el control de audio que es importado a la simulación y el mismo que podemos modificar el volumen y efectos de audio.

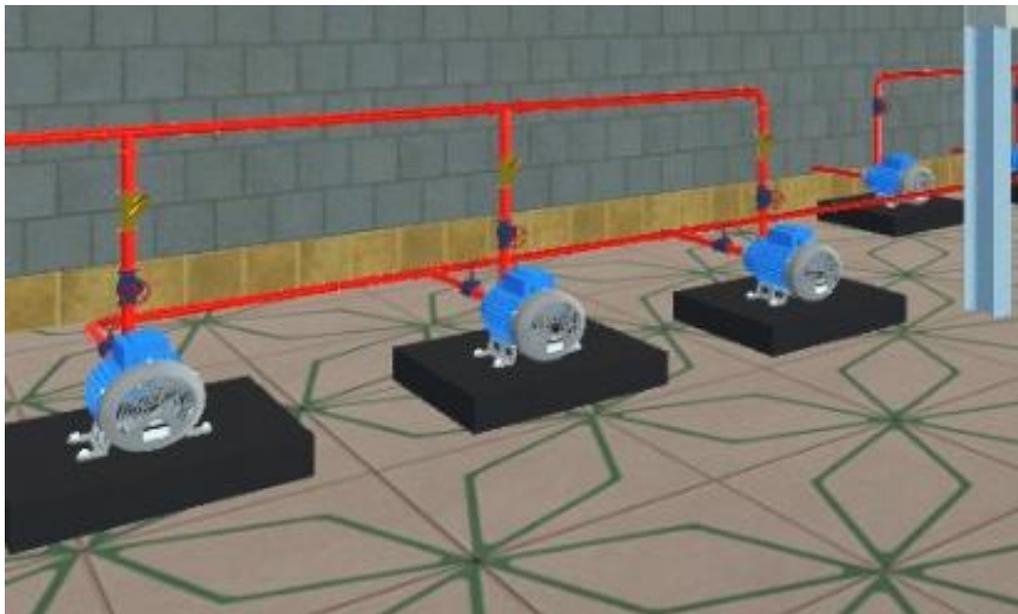


Figura 11. Animación y sonido de las bombas.

Implementación del HMI

El panel de control se implementó para la instrumentación en el cual se visualiza las variables del control PI&D de nivel del tanque, el estado de las bombas, alertas de incendios en cada zona de la planta y las curvas de tendencias de las variables de control del tanque.

1. Este panel fue configurado creando un objeto Canvas es un lienzo que viene en las herramientas de unity3D en el cual se añade botones, paneles para imágenes, textos, sliders y finalmente se le asigna colores con los cuales se forma un panel de control para a visualización del sistema.

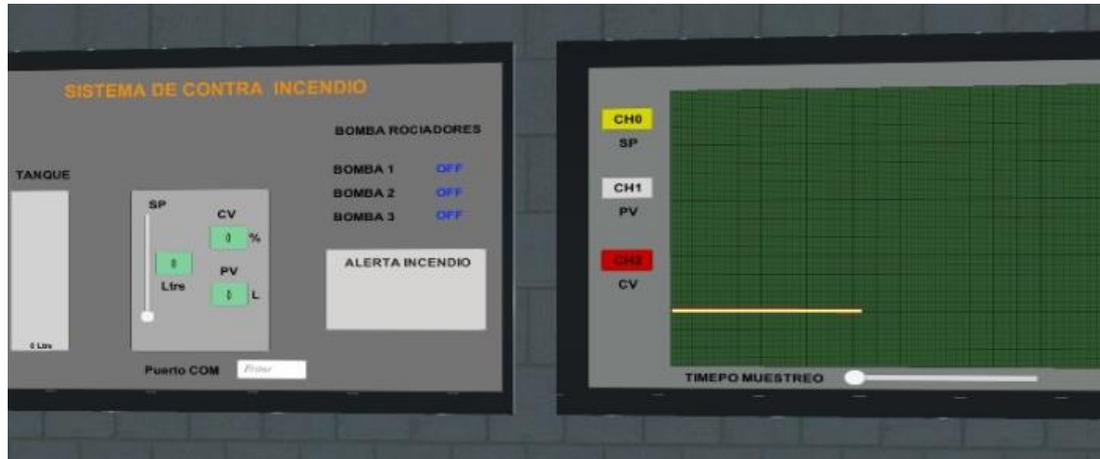


Figura 12. HMI implementado en el sistema.

Sistemas de partículas de fuego y agua

Para simular los efectos de agua y fuego se crean sistemas de partículas a los cuales les añadimos efectos y texturas para obtener una animación más real, estos sistemas de partículas se crean de la siguiente forma:

1. Entrando en la pestaña GameObject; effects; particle system. Obteniendo un nuevo objeto el cual controla la velocidad, tamaño, texturas, cantidad y efectos de acuerdo a lo requerido, se crea un nuevo script con el cual se procede a controlar estos sistemas de partículas.



Figura 13. Sistema de partículas de fuego.



Figura 14. Sistema de partículas de rociadores de agua.

Integración de señalización y símbolos de seguridad en el entorno virtual

Estas señales ya vienen previamente diseñadas en el software CAD y dentro de Unity3D se asigna colores y texturas para que visualice de mejor forma.

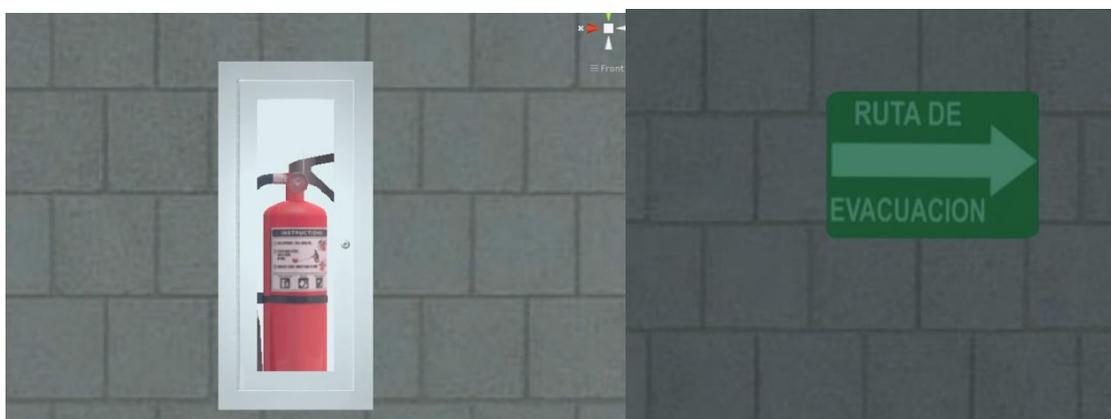


Figura 15. Señalización y símbolos de seguridad.



Figura 16. Plano de evacuación del sistema diseñado.

Configuración de los tableros de control

Para desarrollar la configuración dentro de Unity3D se crea una función y se le asigna un TAG a cada botón el cual permite esta interacción entre el jugador y los tableros de control y de esa forma obtener la función de encender las bombas y dar marcha al sistema. Estos tableros son importados previamente desde el software CAD, luego se crea los botones con herramientas UI y paneles en un canvas para poder asignarles colores y textos, finalmente su animación se realiza configurando puntos de rotación para su movimiento, asignándoles sonidos y además se crea un script que tiene el control de los mismos.

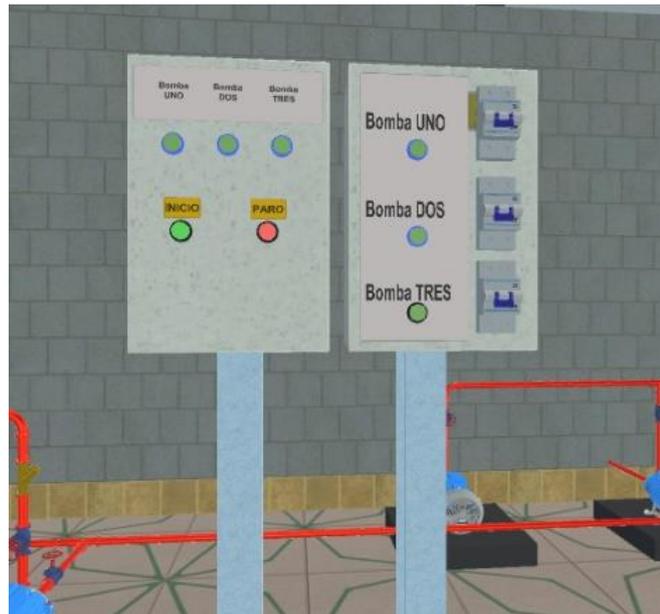


Figura 17. Botones del tablero de control.

Configuración de puntos de colisión

Se crea puntos de colisión utilizando la herramienta box collider el cual evita que otros objetos rodeen un sistema de partículas al momento de estar en contacto, cada interacción da fallas de que se dispersen o atraviesan los objetos al momento del contacto y como consecuencia de esto el objeto suele atravesar cualquier objeto previo aun no colisionado.

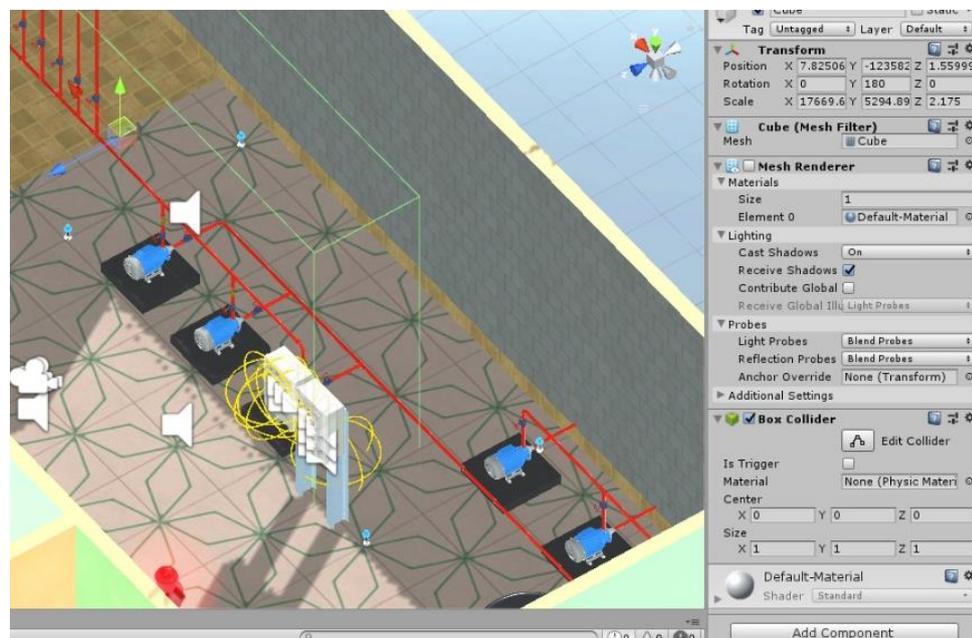


Figura 18. Configuración de puntos de colisión en objetos.

Configuración del jugador en primera persona

Se crea un objeto capsula al cual se le añade un componente (capsule collider) el cual permite el control de movimiento en sus 3 dimensiones se le añade características de gravedad para que

no flote, se le asigna una cámara y finalmente un script que contiene código para su control en el escenario.

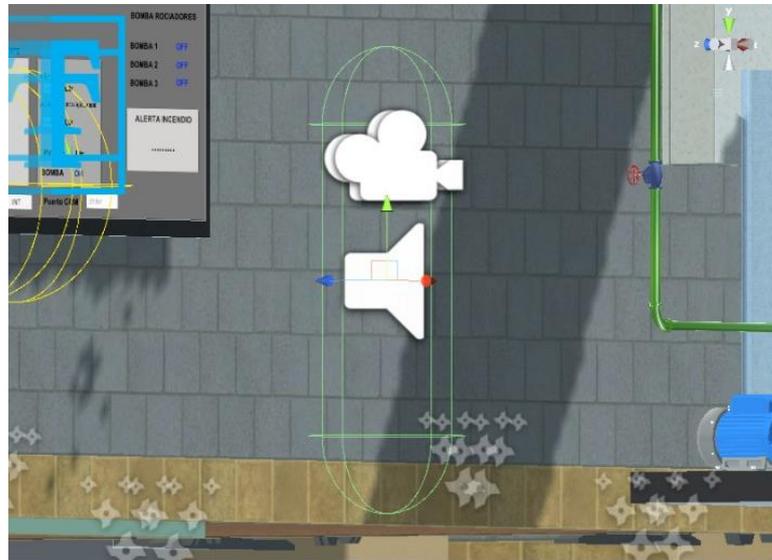


Figura 19. Objeto “Player” para el desplazamiento dentro del entorno.

3.3 Interfaz con la tarjeta de adquisición de datos

Se desarrolla un módulo real en donde el usuario podrá cargar la programación al PLC, una vez cargado la programación se conecta las salidas y entradas a la tarjeta de adquisición de datos para enviar y sacar las señales de 0 a 5V del software de simulación Unity 3D en la cual se lleva a cabo toda la ejecución del programa con los diferentes actuadores y equipos existentes en el proceso.

Para establecer el control mediante un PLC la tarjeta de adquisición de datos tiene integrado un circuito con acondicionadores de señal tanto analógicas como digitales las cuales son enviadas y recibidas por el PLC cumpliendo con la función de control, a continuación se muestra un diagrama del acondicionamiento de señales.

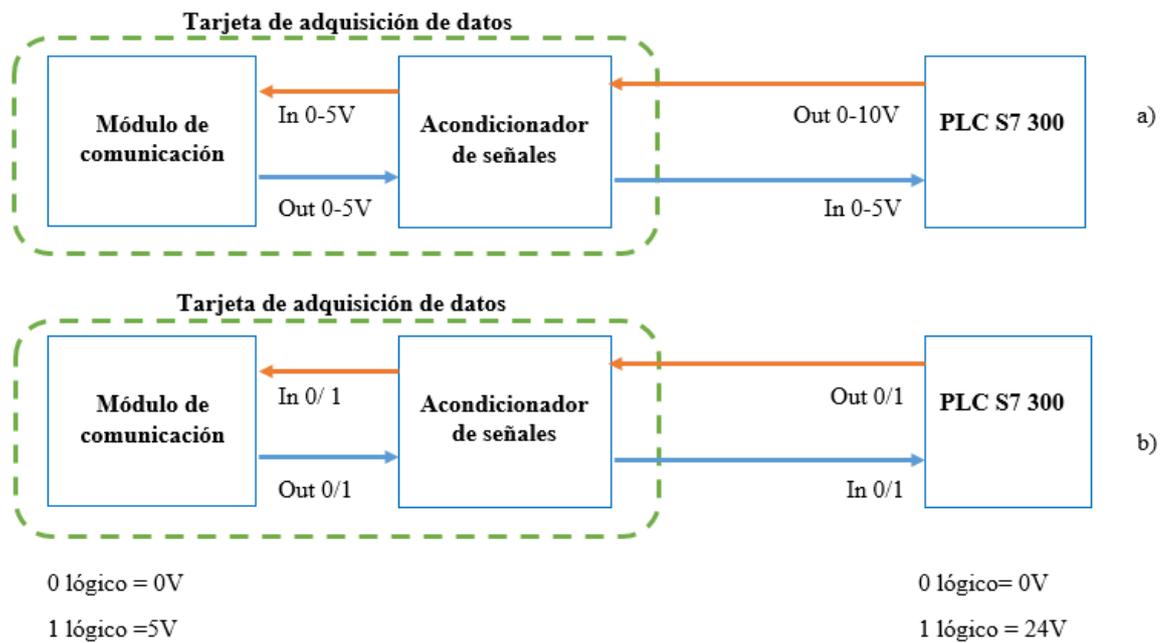


Figura 20. a) Acondicionamiento de señales analógicas.

b) Acondicionamiento de señales digitales.

3.4 Características para la selección del controlador externo

Para la selección del controlador externo se tomó en cuenta la cantidad de sensores, actuadores y accionadores que contiene el sistema, para esto se desarrolló una tabla de especificaciones de entradas y salidas tanto analógicas como digitales. Llegan al resultado que el controlador externo para controlar nuestro sistema debe contar con:

- 9 entradas digitales.
- 6 salidas digitales.
- 2 entradas analógicas.
- 1 salida analógica.

Salidas digitales de la tarjeta de adquisición de datos		
Variables	Denominación	Voltaje
Q0	Paro del sistema	1/0
Q1	Inicio del sistema	1/0
Q2	Sensor de fuego zona 1	1/0
Q3	Botón de emergencia zona 1	1/0
Q4	Sensor de fuego zona 2	1/0
Q5	Breaker bomba 1	1/0
Q6	Breaker bomba 2	1/0
Q7	Breaker bomba 3	1/0
Q8	Sensor de fuego zona 3	1/0

Entradas digitales de la tarjeta de adquisición de datos		
Variables	Denominación	Voltaje
I0	Electroválvula zona 1	1/0
I1	Electroválvula zona 2	1/0
I2	Bomba 2	1/0
I3	Bomba 3	1/0
I4	Bomba 1	1/0
I5	Electroválvula zona 3	1/0
DC	Común	5V

Entradas y salidas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos		
Variables	Denominación	Voltaje
AO PV	Process Value	0 – 5V
AO SP	Setpoint	0 – 5V
AI CV	Control Value	0 – 10V

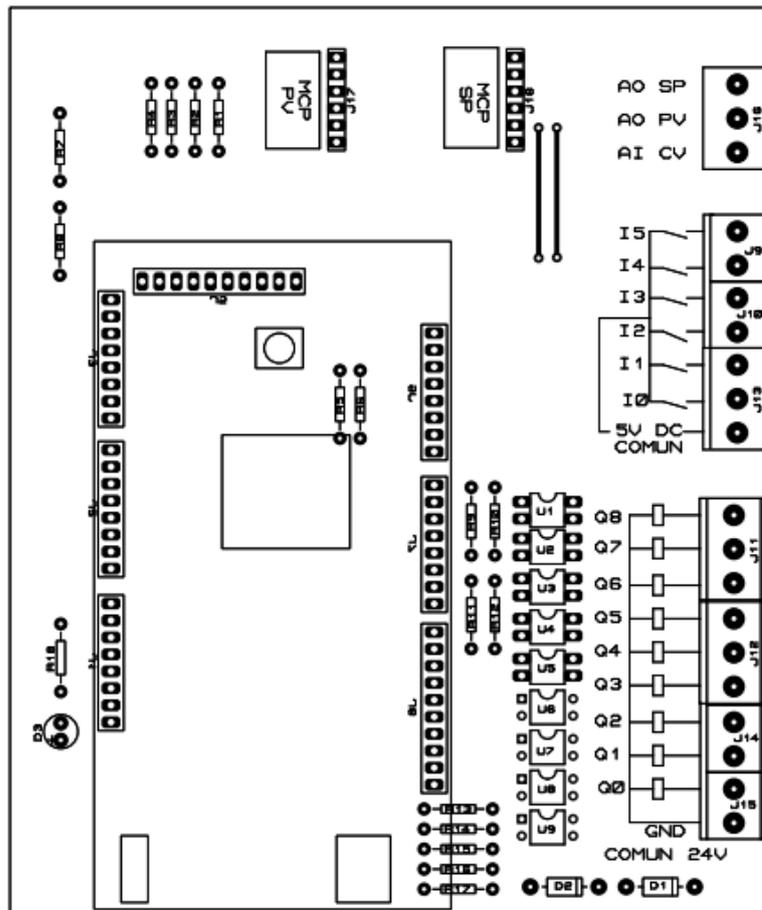


Figura 21. Placa de tarjeta de adquisición de datos.

Variables para conexión con PLC

Módulo de entradas digitales.

Módulo de Entradas Digitales	SM 321 DI 16xDC 24V 6E57 321-1BH50-0AA0
	Denominación
Variables de entradas digitales	
I4.0	Paro del sistema
I4.1	Inicio del sistema
I4.2	Sensor de fuego zona 1
I4.3	Botón de emergencia zona 1
I4.4	Sensor de fuego zona 2
I4.5	Breaker bomba 1
I4.6	Breaker bomba 2
I4.7	Breaker bomba 3
I5.1	Sensor de fuego zona 3

Módulo de salidas digitales.

Módulo de Salidas Digitales	SM 322 DO 8xREL AC230V
	6E57 322-1HF01-0AA0
Variables	Denominación
Q0.1	Electroválvula zona 1
Q0.2	Electroválvula zona 2
Q0.3	Bomba 2
Q0.4	Bomba 3
Q0.5	Bomba 1
Q0.6	Electroválvula zona 3

Módulo de entradas y salidas digitales.

Módulo de Entradas y Salidas Analógicas	SM 334 AI4/AO2 x 8BIT
	6E57 334-OCEO1-0AA0
Variables	Denominación
IW288	Process Value
IW290	Setpoint
QW288	Control Value

4. Configuración para Realidad Virtual

4.1 Configurar las Gafas Oculus Rift S

Para configurar de las gafas Oculus Rift S se debe tener todos los periféricos conectados al CPU, para esto se seguirá los siguientes pasos:

Para conectar el visor y el sensor de Oculus Rift S a tu ordenador se conecta el extremo HDMI del cable del visor al puerto HDMI de tu tarjeta gráfica.

- Conecta el extremo USB del cable del visor a un puerto USB 3.0 (azul) del ordenador.
- Conecta los cables de los sensores a otros puertos USB 3.0 (azul) del ordenador.
- A continuación, se activarán tres iconos verdes en la parte inferior izquierda de la pantalla de Oculus que indican que el visor y el sensor se han conectado correctamente.
- Luego de conectar los periféricos dar clic en siguiente.

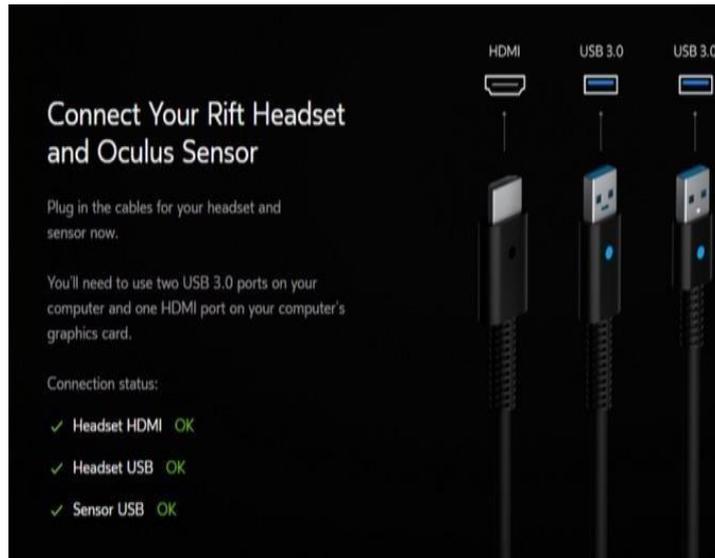


Figura 22. Configuración de los periféricos de Oculus.

NOTA: Si se visualiza iconos de advertencia rojos o amarillos o se experimenta algún otro problema, consultar en la página oficial de Oculus los posibles fallos y las posibles soluciones a los problemas de las gafas de realidad virtual.

4.2 Configuración sensores y mandos Oculus

Para configurar los sensores y mandos de Oculus Rift S primero se tiene que habilitar los mandos de realidad virtual para esto los controles deben contar con pilas doble A. A continuación, se debe ubicar los sensores a 1.5m entre sensores dentro del área de trabajo.

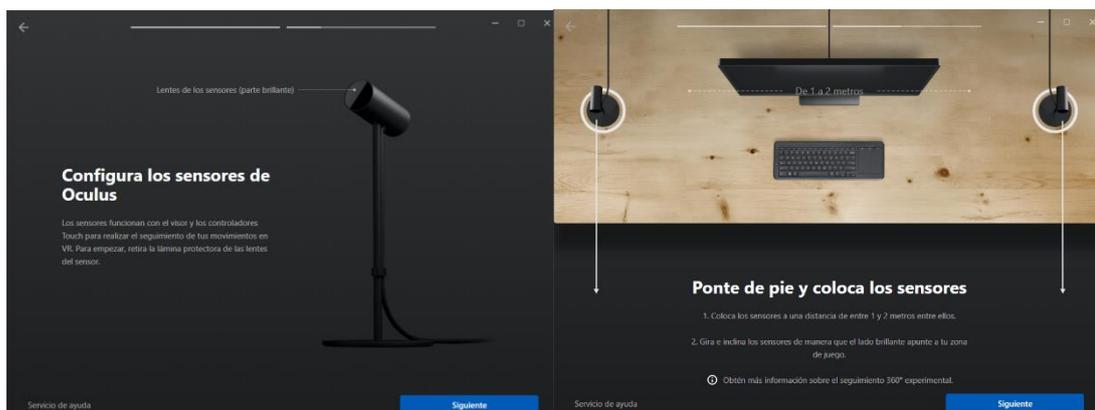


Figura 23. Visualización de pasos para ubicación de sensores.

Una vez colocados los sensores se procede a pulsar el botón “Seleccionar” situado en el centro del disco de navegación para emparejar el mando con el visor.

De esta manera se comprueba que efectivamente los sensores se encuentran en la ubicación correcta y que los mandos se encuentran dentro del rango específico de la zona de trabajo.

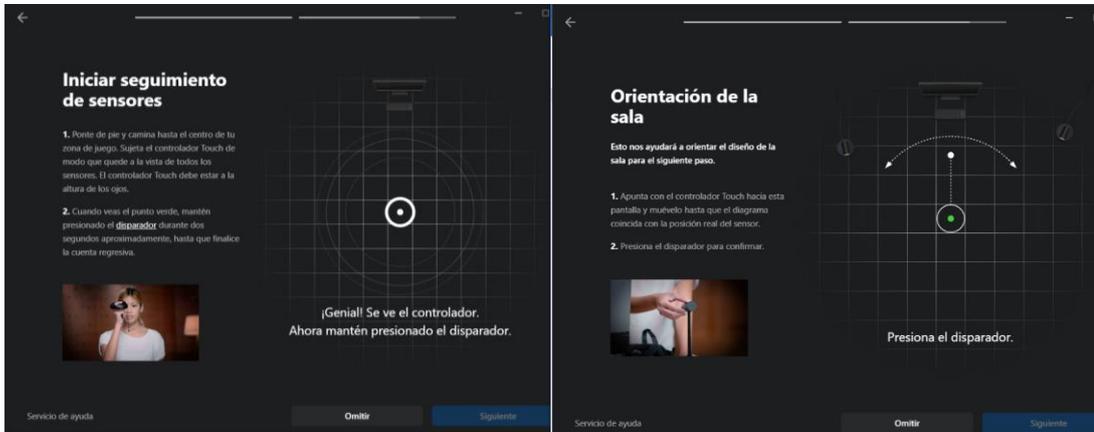


Figura 24. Configuración y ubicación de los sensores Oculus.

Una vez configurado la ubicación adecuada de los sensores de realidad virtual, procedemos a dar clic en siguiente para continuar a delimitar el área de trabajo.

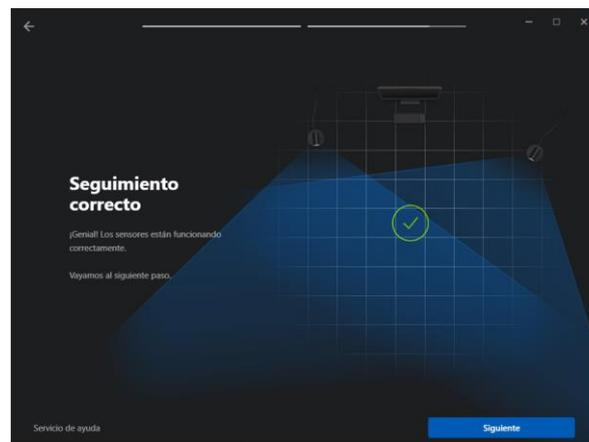


Figura 25. Sensores y mandos de control configurados correctamente.

4.3 Configuración área de trabajo

Para configurar el área de trabajo se debe pulsar el botón del disparador del lado derecho, y con el mismo se debe ir delimitando el perímetro a usar para el manejo de la realidad virtual.

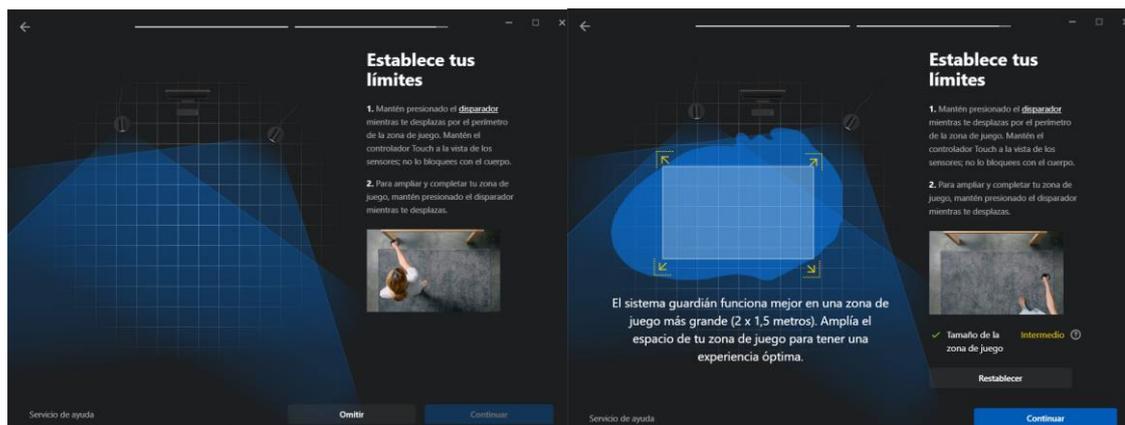


Figura 26. Delimitación del área de trabajo.

4.4 Tamaños del sistema guardián

El sistema guardián establece los límites en la realidad virtual que se hacen visibles si el usuario se acerca demasiado al perímetro de la zona de juego o control. Al configurar el sistema guardián, la zona de juego se mostrará con uno de estos tamaños:

- Por debajo del mínimo:** significa que la zona de juego tiene unas dimensiones inferiores a las mínimas establecidas de 1*1m para utilizar el sistema guardián.
- Mínimo:** tienes espacio suficiente para la zona de juego mínima necesaria, pero algunas aplicaciones pueden recomendar al menos 1.5*1.5m para disfrutar de la mejor experiencia.
- Recomendado:** tienes la zona de juego recomendada para las experiencias con desplazamiento. Esto significa que tu zona de juego se ajusta al espacio de 2*2m que se necesita para configurar el sistema guardián.



Figura 27. Ejemplo del espacio del área de trabajo.

4.5 Restablecer el sistema guardián

Las fallas más comunes dentro de la selección de parámetros del área de trabajo es una mala definición del sistema guardián, para esto existen ciertos pasos que se pueden usar para volver a configurar el área de trabajo.

- a. Seleccionar Configuración en la barra de herramientas inferior.
- b. Seleccionar Sistema guardián en el menú de la izquierda.
- c. Hacer clic en Ajustar el sistema guardián.
- d. Seguir las instrucciones que aparecen en pantalla para restablecer el sistema guardián.

Una vez configurada de forma efectiva el sistema guardián y la zona de trabajo una de las funciones más útiles de las gafas de realidad virtual es la comodidad que se puede adaptar a cada tipo de usuario que lo maneja, empezando por ajustar el nivel de sonido, posición de los auriculares, tamaño de y diámetro de la cabeza del usuario, focal de la vista del usuario, etc.

5. Operación del proceso

Se creó dos versiones del sistema:

En la primera versión está en modo escritorio la cual cuenta con una programación para que el sistema sea controlado mediante un PLC, el accionamiento del sistema se realizó con la configuración del mouse y teclado para facilitar el uso del programa.

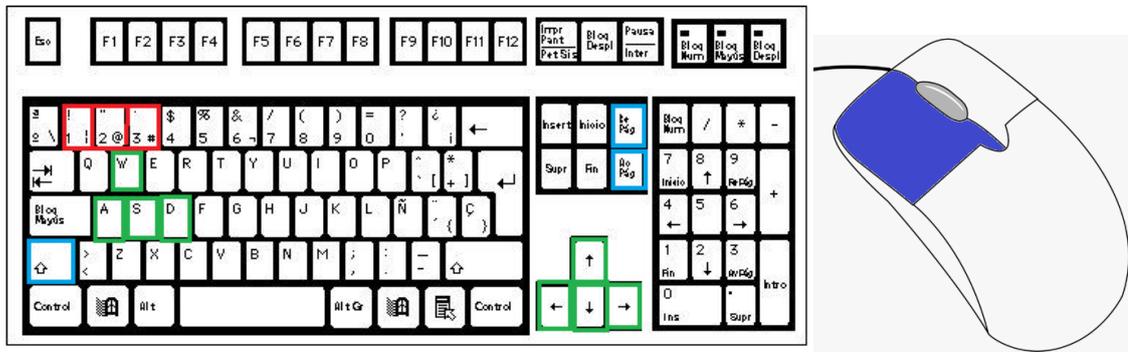


Figura 28. Teclas de accionamiento y movimiento.

Instrucciones	
W	Caminar hacia adelante
S	Caminar hacia atrás
A	Caminar hacia la derecha
D	Caminar hacia la izquierda
Flecha ↑, RePag	Elevar cámara
Flecha ↓, AvPag	Bajar cámara
Flecha →	Mover cámara hacia la derecha
Flecha ←	Mover cámara hacia la izquierda
Shift	Correr
1	Activar incendio zona 1
2	Activar incendio zona 2
3	Activar incendio zona 3
Click izquierdo	Interacción con botones y pantalla

Figura 29. Instrucciones de las teclas.

En la segunda versión está en modo inmersivo la cual está programada en Unity3D y el accionamiento del sistema es mediante la configuración de las gafas de realidad virtual Oculus Rift S las cuales contienen los controladores Touch.

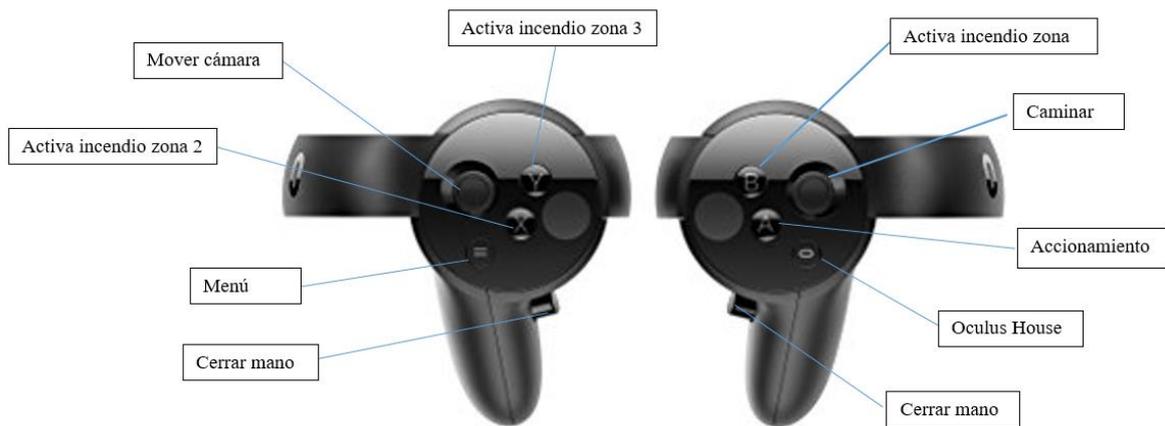


Figura 30. Controles Touch.

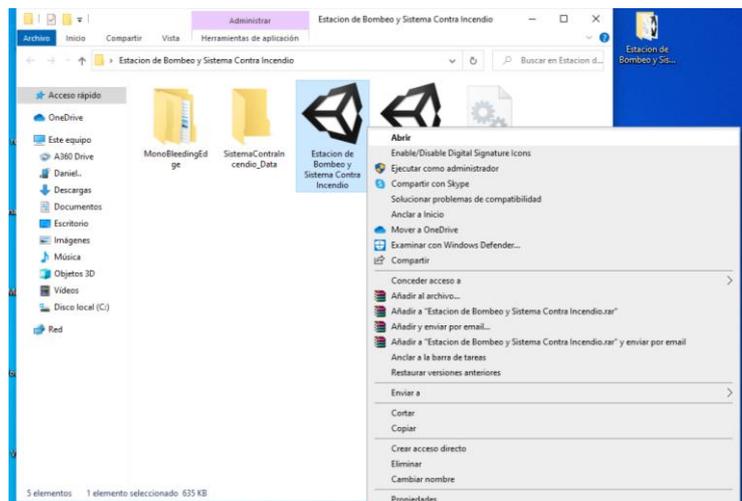
Para el correcto funcionamiento del sistema se debe realizar los siguientes pasos:

1. Verificar los elementos a utilizar.
2. Conexión de los elementos con el computador.

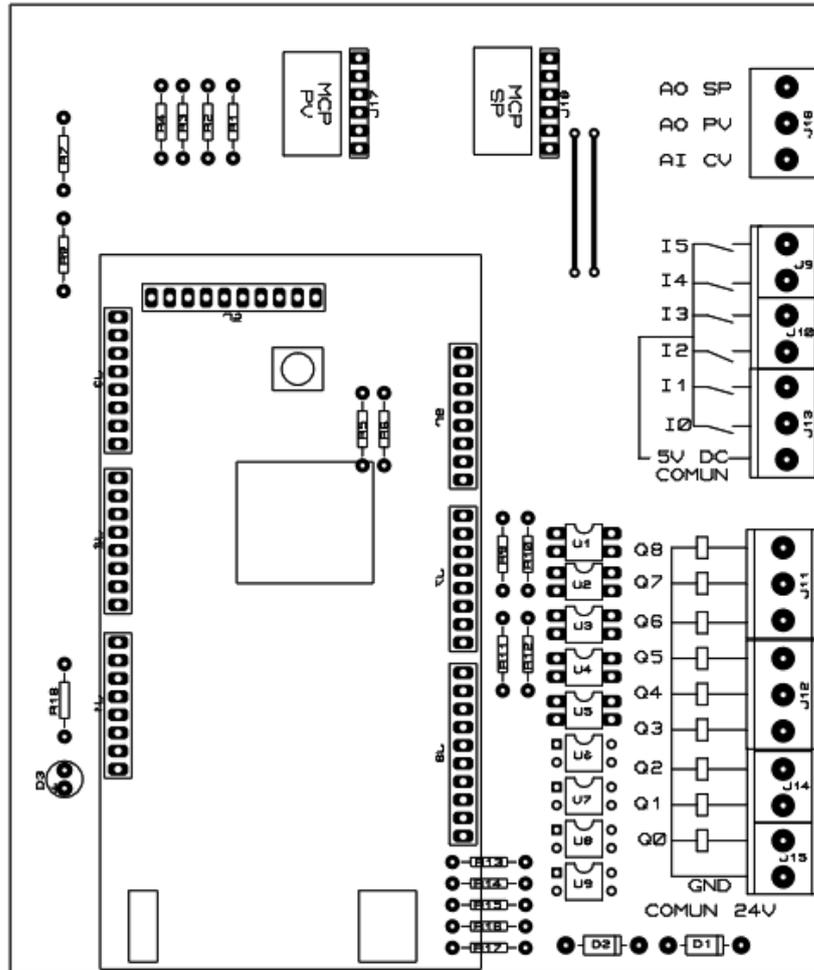
En la tarjeta de adquisición de datos se cuenta con la señalización de cada uno de los elementos a conectar.

Primero la alimentación VCC 24V DC y seguidamente el puerto USB hacia el computador para establecer la comunicación serial.

3. Abrir el ejecutable en la PC de Unity3D estación de bombeo y sistema contra incendios.



4. Verificar el Puerto COM al cual está conectada la tarjeta de adquisición de datos para establecer comunicación.
5. Conectar las salidas y entadas Analógicas (SP, PV, CV) con el controlador a utilizar teniendo en cuenta que las salidas y entradas permiten una variación de voltaje de 0 a 5V.



Salidas digitales de la tarjeta de adquisición de datos.

Variables	Denominación	Voltaje
Q0	Paro del sistema	1/0
Q1	Inicio del sistema	1/0
Q2	Sensor de fuego zona 1	1/0
Q3	Botón de emergencia zona 1	1/0
Q4	Sensor de fuego zona 2	1/0
Q5	Breaker bomba 1	1/0
Q6	Breaker bomba 2	1/0
Q7	Breaker bomba 3	1/0
Q8	Sensor de fuego zona 3	1/0
GND	Comun	-24

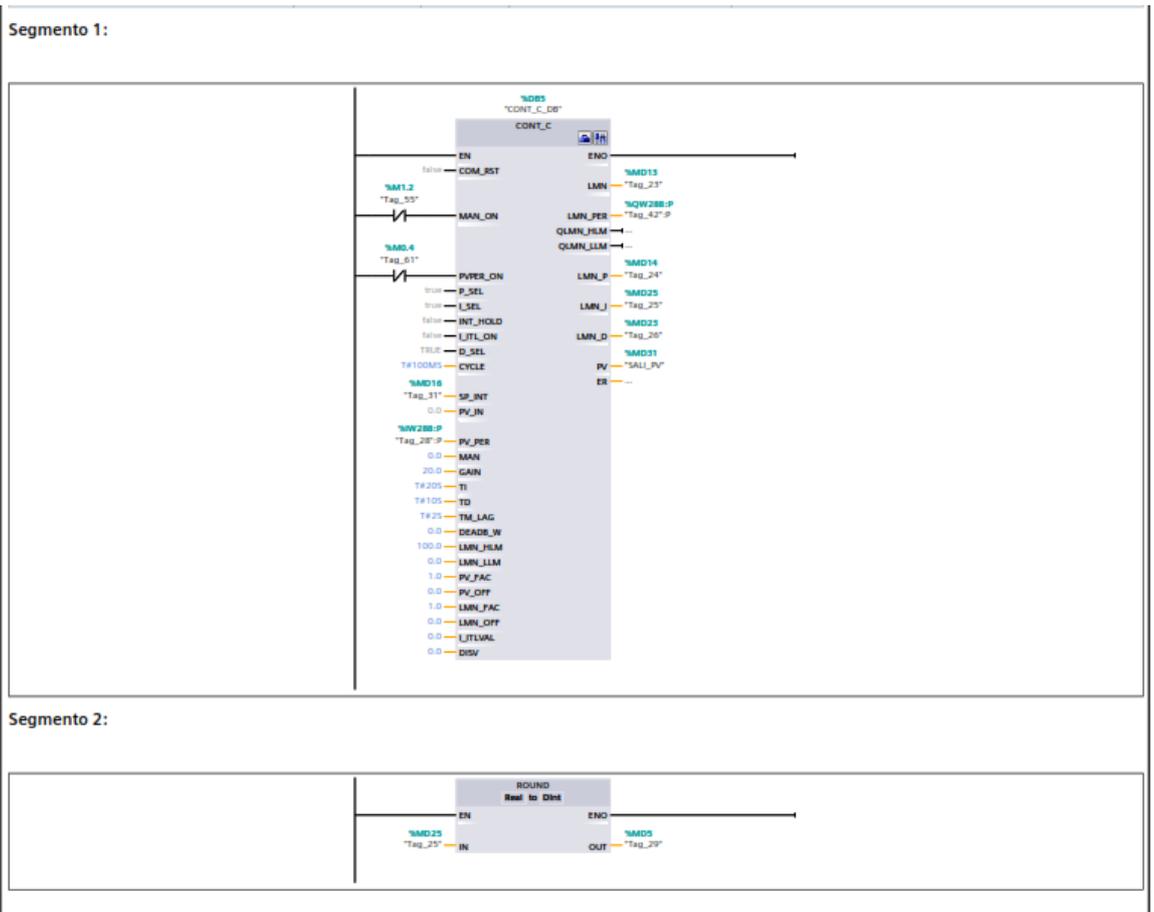
Entradas digitales de la tarjeta de adquisición de datos.

Variables	Denominación	Voltaje
I0	Electroválvula zona 1	1/0
I1	Electroválvula zona 2	1/0
I2	Bomba 2	1/0
I3	Bomba 3	1/0
I4	Bomba 1	1/0
I5	Electroválvula zona 3	1/0
DC	Comun	5V

Entradas y salidas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos.

Variables	Denominación	Voltaje
AO PV	Process Value	0 – 5V
AO SP	Setpoint	0 – 5V
AI CV	Control Value	0 – 10V

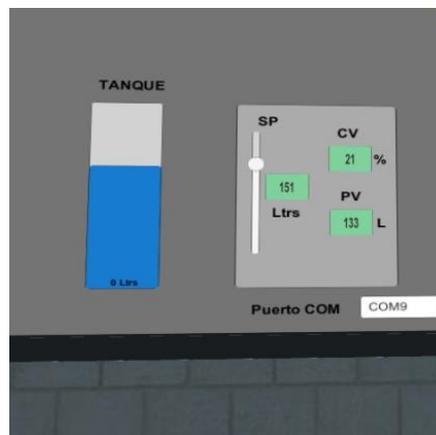
6. Programar un control PID de nivel en el software del controlador seleccionado.



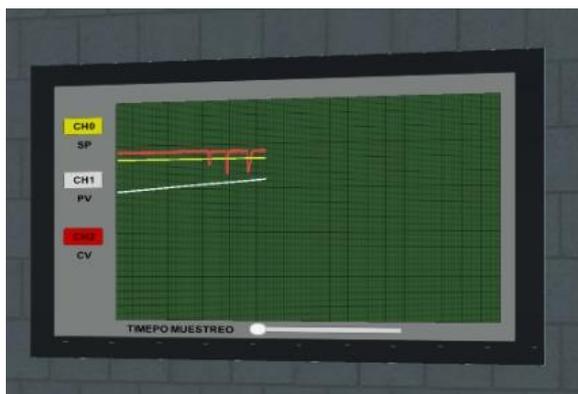
7. Introducir el puerto COM al que está conectado la tarjeta de adquisición de datos en el menú del programa de simulación de procesos Unity3D para establecer la comunicación y proceder a la recepción y envío de datos.



8. Presionar en el botón guardar una vez guardado el puerto de comunicación iniciar la simulación del sistema.
9. Seleccionar el Setpoint y proceder observar el control de nivel en el HMI y en el tanque que tiene el sistema.



10. Realizar pruebas de medición.
11. Una vez obtenidas varias medidas, realizar comparación de las curvas de comportamiento del nivel.



12. Dar condiciones de incendios para verificar el control de bombas.

NOTA: la programación del funcionamiento del sistema ya está precargada en el controlador por lo tanto no hace falta volver a cargar la programación en el mismo.

PRÁCTICAS DE LABORATORIO

PRÁCTICA DE LABORATORIO

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA	IELM804	MEDIDAS ELÉCTRICAS E INSTRUMENTACIÓN

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	ELECTRÓNICA	DURACIÓN (HORAS)
1	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	CONTROL PID DE NIVEL	2

1	OBJETIVO
	<ul style="list-style-type: none">• Adiestrar al estudiante en la programación de un control PID de nivel, mediante software de simulación de procesos y controlador externo para determinar sus características y su aplicación en el campo de la instrumentación.

2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
	<h3>2.1.INTRODUCCIÓN</h3> <p>Tipo de control</p> <p>Sistema de control en bucle abierto:</p>



Bucle abierto

Sistemas de control en bucle cerrado:

- Permiten corregir errores
- Permiten actuar frente a perturbaciones
- Más costos
- Ejemplo: mecanismo de piloto automático

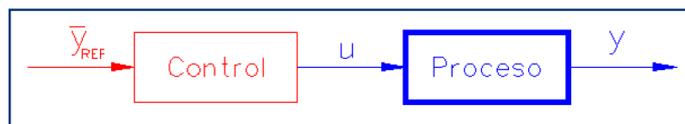
Estrategias de control

Control en bucle abierto:

- **Control todo-nada**

Encendido o apagado de un proceso o planta.

Calefacción o aire acondicionado tradicional de un vehículo, abrir o cerrar un grifo. Secuencias o acciones conmutadas por tiempo o por eventos.

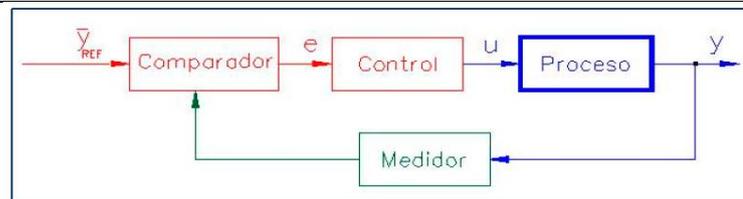


Sistema de control

Control en bucle cerrado

Se emplea un nuevo elemento en el control, el compensador o controlador.

Su función es calcular la acción de control a aplicar para corregir el error con el fin de que la salida tenga el valor esperado y marcado en la entrada, siempre asegurado la estabilidad del sistema.



Sistema de control

Regulación automática (el compensador se denomina regulador)

Encendido/apagado de un proceso según el error con respecto a una consigna fija.

Servomecanismo o tracking

El objetivo del control es el seguimiento de una trayectoria predefinida.

Tipos de compensadores o controladores clásicos

Control proporcional (P)

La señal de salida del compensador es proporcional a la señal de entrada al mismo (señal de error).

Hace el efecto de amplificador con una ganancia constante.

Control integral (I)

La señal de salida es proporcional a la integral de la señal error.

La salida es proporcional a la acumulación de los efectos de los errores pasados.

Hace desaparecer el error en régimen permanente.

Aumenta la estabilidad relativa.

Control derivativo (D)

La señal de salida es proporcional a la razón de cambio con el tiempo del error (derivativo).

Es insensible a errores constantes o que varían lentamente. No se usa solo.

La respuesta resulta más rápida.

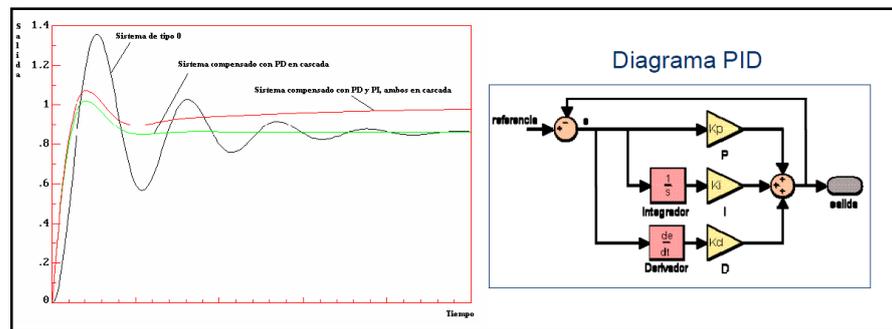
Controlador PID

El controlador PID es el algoritmo de control más común se basa en la simple implementación de la idea de realimentación, esta puede reducir los efectos producidos por las perturbaciones logrando que un proceso siga adecuadamente a su punto de consigna, gracias a estas ventajas en control de procesos el control PID es utilizado en más del 95 por ciento de lazos de control.

Los controladores PID han sobrevivido a muchos cambios de tecnología que van desde la neumática a los microprocesadores pasando por los tubos de vacío, los transistores, y los circuitos integrados.

El microprocesador ha tenido una influencia crucial sobre el controlador PID. Prácticamente todos los controladores PID fabricados hoy en día se basan en microprocesadores.

Esto ha creado oportunidades para proporcionar características adicionales tales como sintonía automática, planificación de ganancia, adaptaciones continuas y diagnóstico, además se implementa de muchas formas diferentes, como un controlador único o como parte de un paquete DDC (Control Digital Directo) o un sistema de control de procesos distribuido jerárquico.



Sistema de control

2.2.EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

1. Fuente DC 24V
2. Multímetro Digital
3. Computadora
4. Tarjeta de adquisición de datos
5. Osciloscopio
6. Ejecutable de estación de bombeo de agua y sistema contra incendios Software unity3D
7. Controlador externo

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.

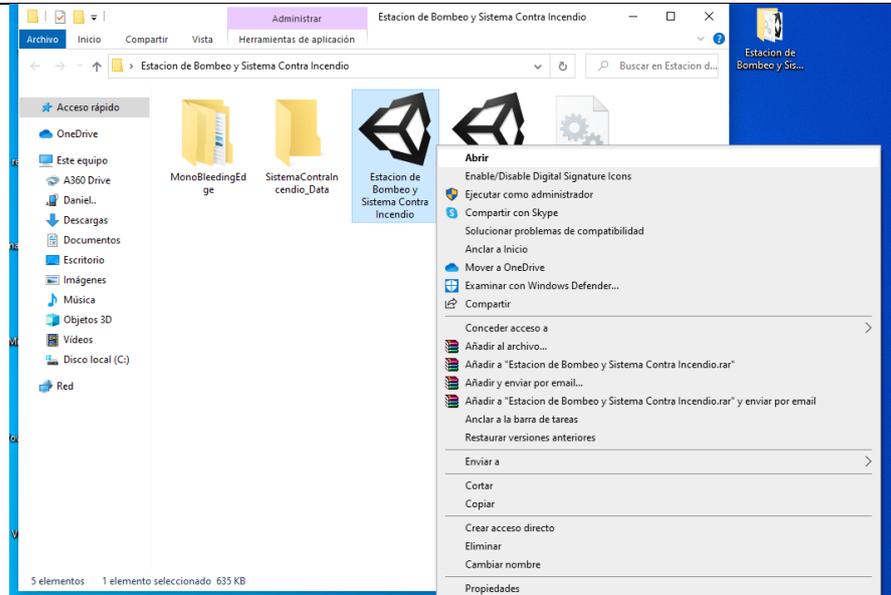
2.4.PROCEDIMIENTO

- a) Verificar los elementos a utilizar en la práctica.
- b) Conexión de los elementos con el computador.

En la tarjeta de adquisicion de datos se cuenta con la señalizacion de cada uno de los elementos a conectar.

Primero la alimentacion VCC 24V DC y seguidamente el puerto USB hacia el computador para establecer la comunicación serial.

- c) Abrir el ejecutable en la PC de Unity3D estación de bombeo y sistema contra incendios.



- d) Verificar el Puerto COM al cual está conectada la tarjeta de adquisición de datos para establecer comunicación.
- e) Conectar las salidas y entadas Analógicas (SP, PV, CV) con el controlador a utilizar teniendo en cuenta que las salidas y entradas permiten una variación de voltaje de 0 a 5V.

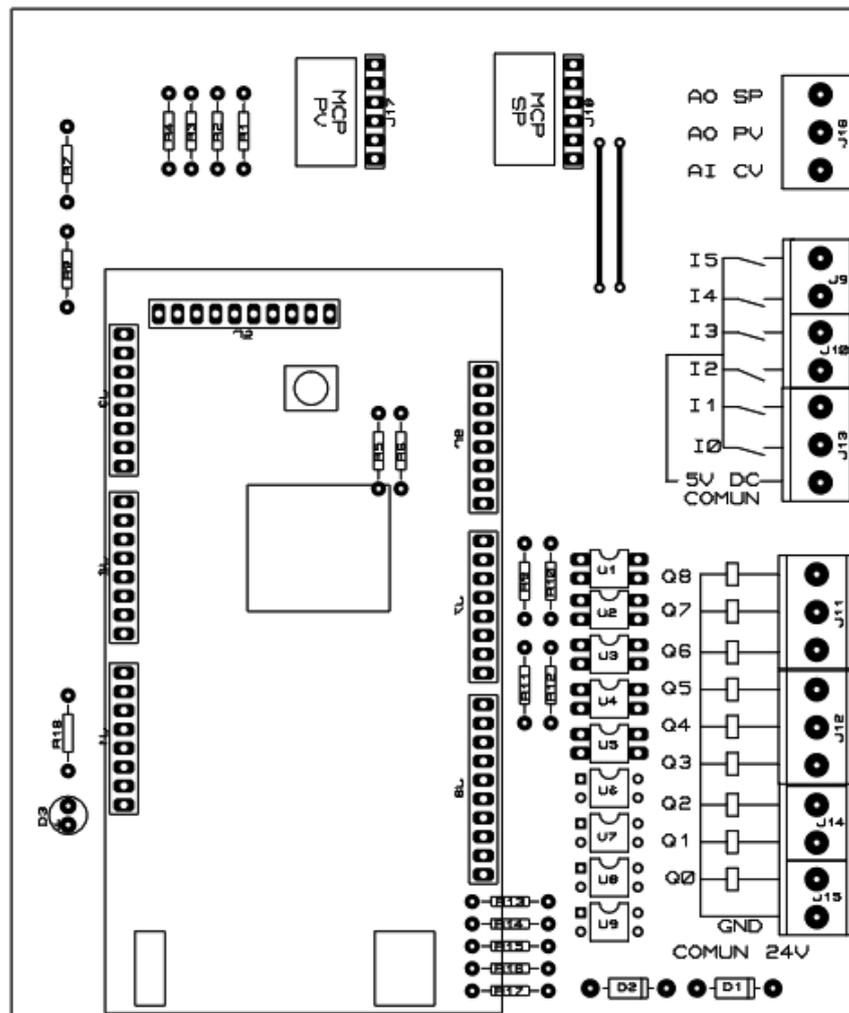


Tabla1. Salidas digitales de la tarjeta de adquisición de datos.

Variables	Denominación	Voltaje
Q0	Paro del sistema	1/0
Q1	Inicio del sistema	1/0
Q2	Sensor de fuego zona 1	1/0
Q3	Botón de emergencia zona 1	1/0
Q4	Sensor de fuego zona 2	1/0
Q5	Breaker bomba 1	1/0
Q6	Breaker bomba 2	1/0
Q7	Breaker bomba 3	1/0
Q8	Sensor de fuego zona 3	1/0
GND	Comun	-24

Tabla2. Entradas digitales de la tarjeta de adquisición de datos.

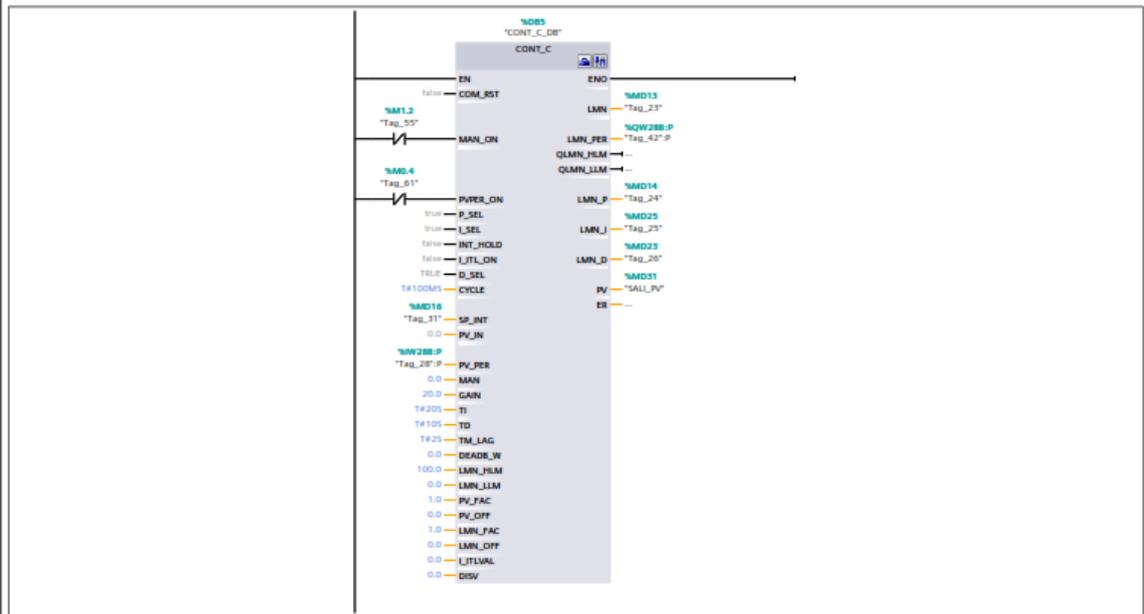
Variables	Denominación	Voltaje
I0	Electroválvula zona 1	1/0
I1	Electroválvula zona 2	1/0
I2	Bomba 2	1/0
I3	Bomba 3	1/0
I4	Bomba 1	1/0
I5	Electroválvula zona 3	1/0
DC	Comun	5V

Tabla3. Entradas y salidas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos.

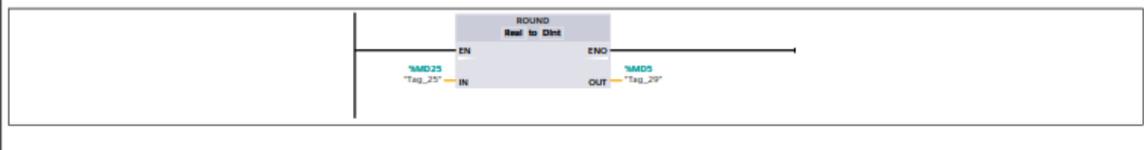
Variables	Denominación	Voltaje
AO PV	Process Value	0 – 5V
AO SP	Setpoint	0 – 5V
AI CV	Control Value	0 – 10V

f) Programar un control PID de nivel en el software del controlador seleccionado.

Segmento 1:



Segmento 2:



g) Introducir el puerto COM al que está conectado la tarjeta de adquisición de datos en el menú del programa de simulación de procesos Unity3D para establecer la comunicación y proceder a la recepción y envío de datos.

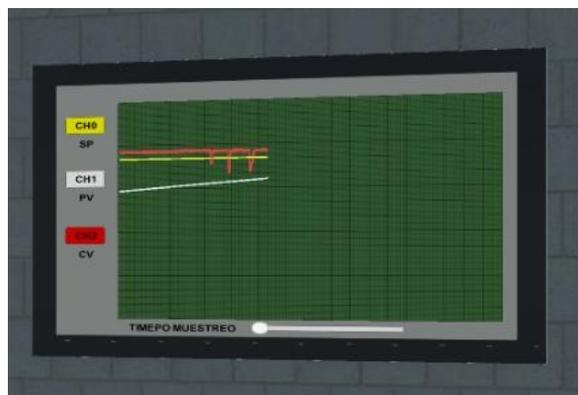


h) Presionar en el botón guardar una vez guardado el puerto de comunicación iniciar la simulación del sistema.

i) Seleccionar el Setpoint y proceder observar el control de nivel en el HMI y en el tanque que tiene el sistema.



- j) Realizar pruebas de medición.
- k) Una vez obtenidas varias medidas, realizar comparación de las curvas de comportamiento del nivel.



2.5. TRABAJO PREPARATORIO

1. Una vez abierto el ejecutable de estación de bombeo y sistema contra incendios interactúe con la interfaz grafica para que se familiarice con este simulador
2. Investigar sobre el funcionamiento y las curvas de comportamiento de un control PID de nivel.

2.5.1. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

1. Verificar que el control de nivel este funcionando de forma correcta y precisa
2. Realizar capturas de pantalla del HMI de las curvas de comportamiento de control PID de nivel
3. Realizar la medición con el osciloscopio en las entradas y salidas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos para obtener las curvas de comportamiento del control PID de nivel
4. Tomar medidas de voltaje en las entradas y salidas de la tarjeta de adquisición de datos.
5. Dar las mismas condiciones al control de nivel para las tres actividades descritas anteriormente.

3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN
<p>3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS</p> <p>1. Realizar la comparación de las curvas entre las obtenidas del software de simulación y las curvas obtenidas con el osciloscopio.</p> <p>2. Realizar la comparación entre las curvas obtenidas del software de simulación y los datos de voltaje obtenidos por el multímetro digital tomando en cuenta que tenemos que escalarle al voltaje de 0 -5V al nivel de 0 – 200 litros.</p>	
4	CONCLUSIONES
<p>En el software de simulación se observó que el control de nivel es preciso hacia las condiciones asignadas por el controlador.</p>	
5	RECOMENDACIONES
<p>Antes de hacer uso de los equipos utilizados pedir una guía técnica a los docentes que imparten la materia</p>	
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
<p>O. Ingenier, F. Torres, and C. Jara, “Tema 6. Autómatas programables I.”</p>	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

PRÁCTICA DE LABORATORIO

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA	IELM804	CONTROL INDUSTRIAL

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	CONTROL INDUSTRIAL	DURACIÓN (HORAS)
1	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	CONTROL DE ESTACION DE BOMBEO Y SISTEMA CONTRA INCENDIOS	2

1	OBJETIVO
	<ul style="list-style-type: none">• Adiestrar al estudiante en la programación de un control para una estación de bombeo y sistema contra incendio, mediante software de simulación de procesos y controlador externo para determinar sus características y su aplicación en el campo del control industrial.

2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
	<h3>2.1. INTRODUCCIÓN</h3> <p>Automatización.</p> <p>La automatización de los procesos productivos es uno de los aspectos que más ha evolucionado en la industria desde sus comienzos. La integración de tecnologías clásicas como la mecánica y la electricidad con otras más modernas (electrónica, informática, telecomunicaciones, etc.) está haciendo posible esta evolución.</p>

- El primer nivel o "nivel de campo" incluye los dispositivos físicos presentes en la industria, como los actuadores y sensores.
- El segundo nivel o "nivel de control" incluye los dispositivos controladores como ordenadores, PLCs, PIDs, etc.
- El "nivel de supervisión" (tercer nivel) corresponde a los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA).
- En un nivel superior o "nivel de planificación" se encuentran los sistemas de ejecución de la producción (MES).
- La cúspide de la pirámide ("nivel de gestión") la componen los sistemas de gestión integral de la empresa (ERP).

Control automático de procesos

El control automático de procesos es utilizado para mantener en un punto de consiga las variables que abarca un proceso estas variables pueden ser: temperatura, presión, nivel, etc. Los procesos en los cuales está involucrado el control automático son de naturaleza dinámica es decir siempre ocurren cambios en ellos y si no se realizan acciones pertinentes o correctivas en las variables importantes del proceso, los índices de producción y calidad no cumplirán con el diseño establecido.

Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado o "chip" (es decir, un dispositivo electrónico que integra en un solo encapsulado un gran número de componentes) que tiene la característica de ser programable. Es decir, que es capaz de ejecutar de forma autónoma una serie de instrucciones previamente definidas por nosotros. El microcontrolador sería el componente principal de la circuitería de procesamiento y control.

Tarjeta adquisición de datos

El microcontrolador arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software gratis, libre y multiplataforma fáciles de usar. Una placa hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines-hembra (los cuales están unidos internamente a las patillas de E/S del microcontrolador) que permiten conectar allí de forma muy sencilla y cómoda diferentes sensores y actuadores.

El lenguaje de programación es libre, el lenguaje de programación se entiende cualquier idioma artificial diseñado para expresar instrucciones (siguiendo unas determinadas reglas sintácticas) que pueden ser llevadas a cabo por máquinas. Este software lo deberemos programar generalmente nosotros mismos mediante algún lenguaje de programación estándar como puede ser Python, C, Java, Php, entre otros.

2.3.EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

1. Fuente DC 24V
2. Multímetro Digital
3. Computadora
4. Tarjeta de adquisición de datos
5. Ejecutable de estación de bombeo de agua y sistema contra incendios Software unity3D
6. Controlador externo

a. MEDIDAS DE SEGURIDAD

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

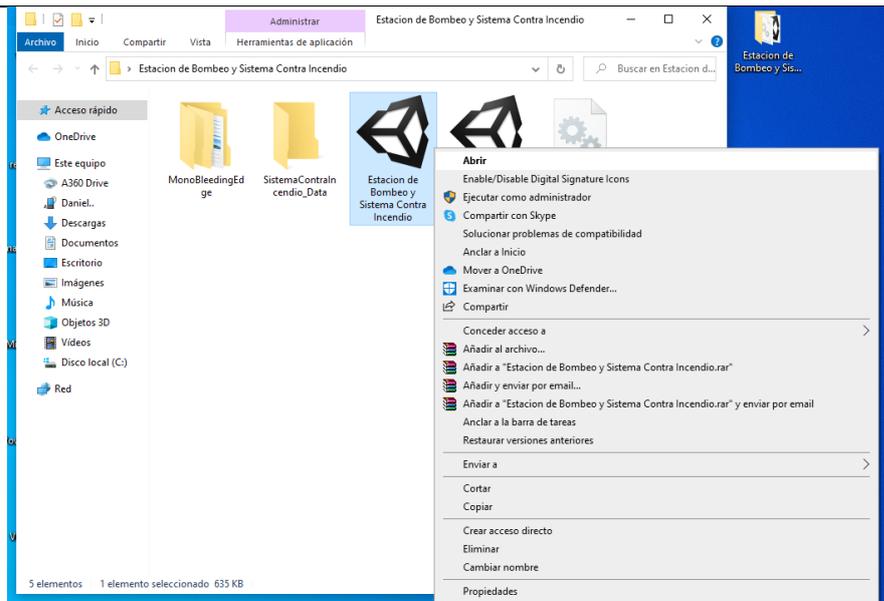
b. PROCEDIMIENTO

- a) Verificar los elementos a utilizar en la práctica.
- b) Conexión de los elementos con el computador.

En la tarjeta de adquisiscion de datos se cuenta con la señalizacion de cada uno de los elementos a conectar.

Primero la alimentacion VCC 24V DC y segruidamente el puerto USB hacia el computador para establecer la comunicación serial.

- c) Abrir el ejecutable en la PC de Unity3D estación de bombeo y sistema contra incendios.



- d) Verificar el Puerto COM al cual está conectada la tarjeta de adquisición de datos para establecer comunicación.
- e) Conectar las salidas y entadas Digitales con el controlador a utilizar teniendo en cuenta que las salidas y entradas permiten una variación de voltaje de 0 a 5V.

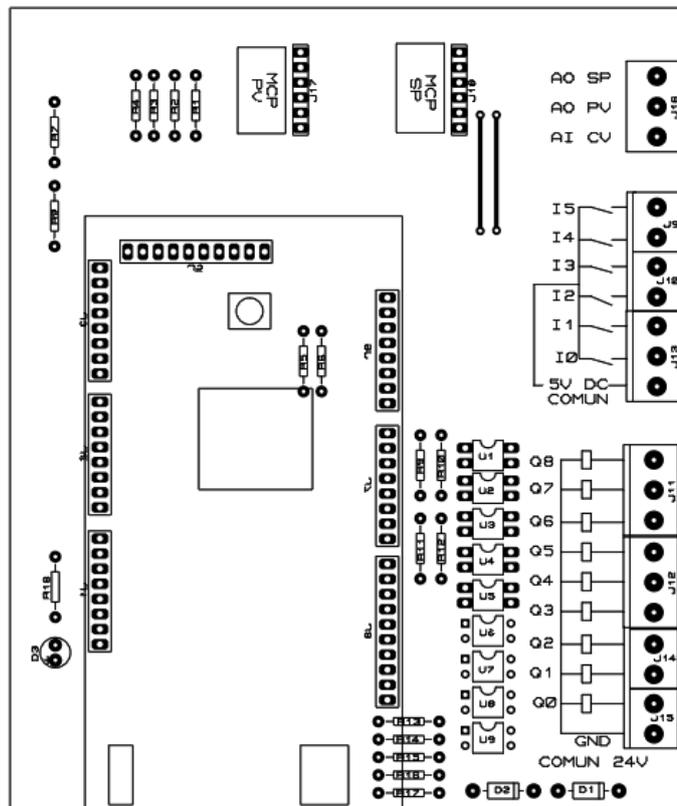


Tabla 4. Salidas digitales de la tarjeta de adquisición de datos.

Variables	Denominación	Voltaje
Q0	Paro del sistema	1/0
Q1	Inicio del sistema	1/0
Q2	Sensor de fuego zona 1	1/0
Q3	Botón de emergencia zona 1	1/0
Q4	Sensor de fuego zona 2	1/0
Q5	Breaker bomba 1	1/0
Q6	Breaker bomba 2	1/0
Q7	Breaker bomba 3	1/0
Q8	Sensor de fuego zona 3	1/0
GND	Comun	-24

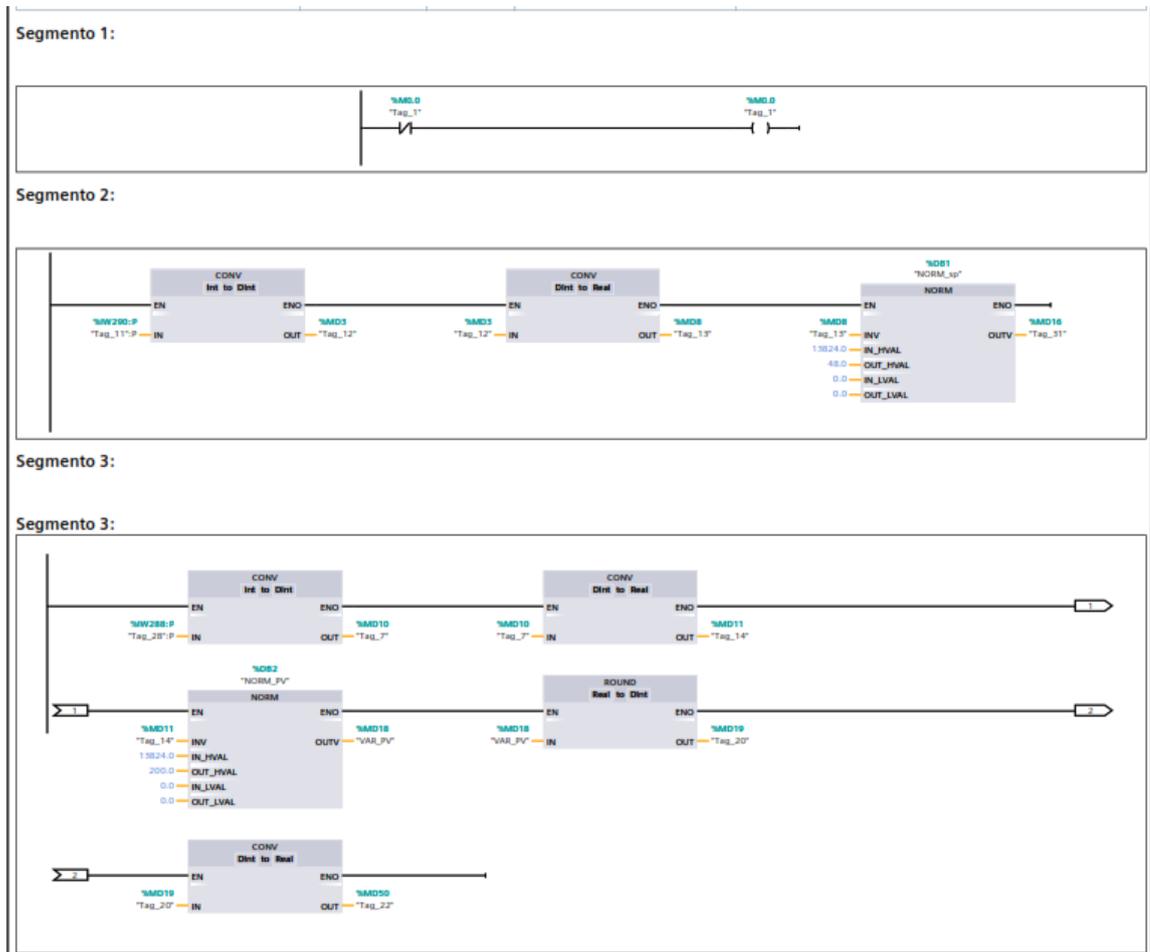
Tabla 5. Entradas digitales de la tarjeta de adquisición de datos.

Variables	Denominación	Voltaje
I0	Electroválvula zona 1	1/0
I1	Electroválvula zona 2	1/0
I2	Bomba 2	1/0
I3	Bomba 3	1/0
I4	Bomba 1	1/0
I5	Electroválvula zona 3	1/0
DC	Comun	5V

Tabla 6. Entradas y salidas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos.

Variables	Denominación	Voltaje
AO PV	Process Value	0 – 5V
AO SP	Setpoint	0 – 5V
AI CV	Control Value	0 – 10V

- f) Programar un control que de condiciones a las bombas para su funcionamiento en el software del controlador seleccionado.



- g) Introducir el puerto COM al que está conectado la tarjeta de adquisición de datos en el menú del programa de simulación de procesos Unity3D para establecer la comunicación y proceder a la recepción y envío de datos.



- h) Presionar en el botón guardar una vez guardado el puerto de comunicación iniciar la simulación del sistema.
- i) Seleccionar el Setpoint y proceder observar el control de nivel en el HMI y en el tanque que tiene el sistema.
- j) Dar condiciones de incendios para verificar el control de bombas.

c. TRABAJO PREPARATORIO

1. Una vez abierto el ejecutable de estación de bombeo y sistema contra incendios interactúe con la interfaz gráfica para que se familiarice con este simulador
2. Investigar sobre el control de bombas de una estación de bombeo y sistema contra incendios
3. Seleccionar un controlador que disponga de entradas y salidas tanto analógicas como digitales.

i. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

1. Verificar que el control de nivel este funcionando de forma correcta y precisa
2. Simular el control de sistema de bombas siguiendo el código de programación planteado.
3. Crear un control alternativo para la estación de bombeo y sistema contra incendios.
4. Crear un control secuencial de bombas para la estación de bombeo.

3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN
<p>3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS</p> <p>Realizar la comparación de los controles entre el propuesto y la alternativa creada para analizar cuál de los dos es más óptimo para estos tipos de procesos.</p> <p>Analizar el control secuencial de bombas para determinar si es óptimo en este proceso.</p>	

4	CONCLUSIONES
<p>En el software de simulación se observó que el control de la estación de bombeo y sistema contra incendios es preciso hacia las condiciones asignadas por el controlador.</p>	

5	RECOMENDACIONES
----------	------------------------

Antes de hacer uso de los equipos utilizados pedir una guía técnica a los docentes que imparten la materia

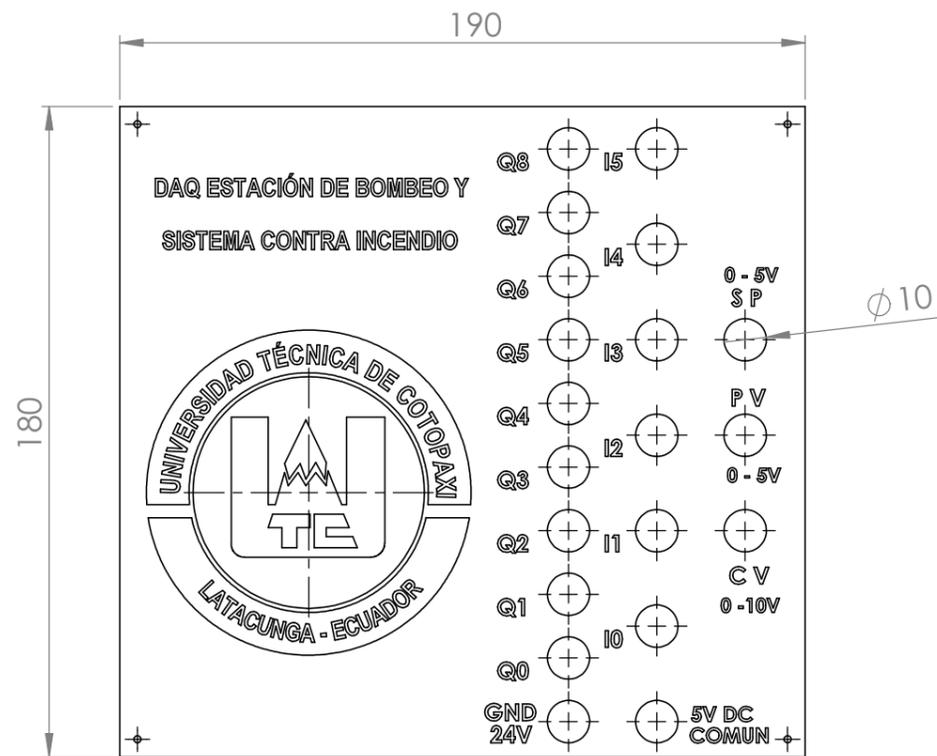
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
----------	-----------------------------------

I. Training, "Pirámide de automatización," 2020.

C. Smith, "Control Automático de Procesos Teoría Y Práctica," 2017.

C. D. E. I. Informática, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO (DOMSYSTEM) DE SEGURIDAD Y CONTROL PARA MANTENER EL RESGUARDO DE BIENES Y EL CONFORT MEDIANTE UNA RED DE SENSORES UTILIZANDO COMUNICACIÓN WIRELESS BLUETOOTH," 2015.

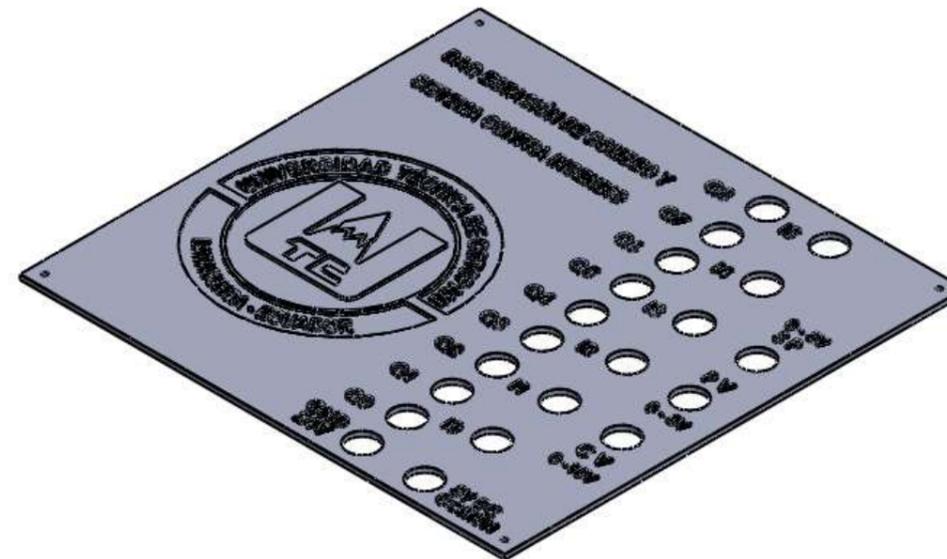
PLANOS



VISTA FRONTAL



VISTA SUPERIOR



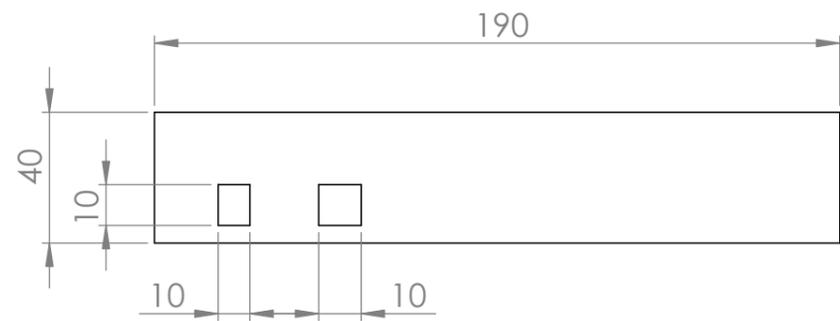
ISOMETRÍA



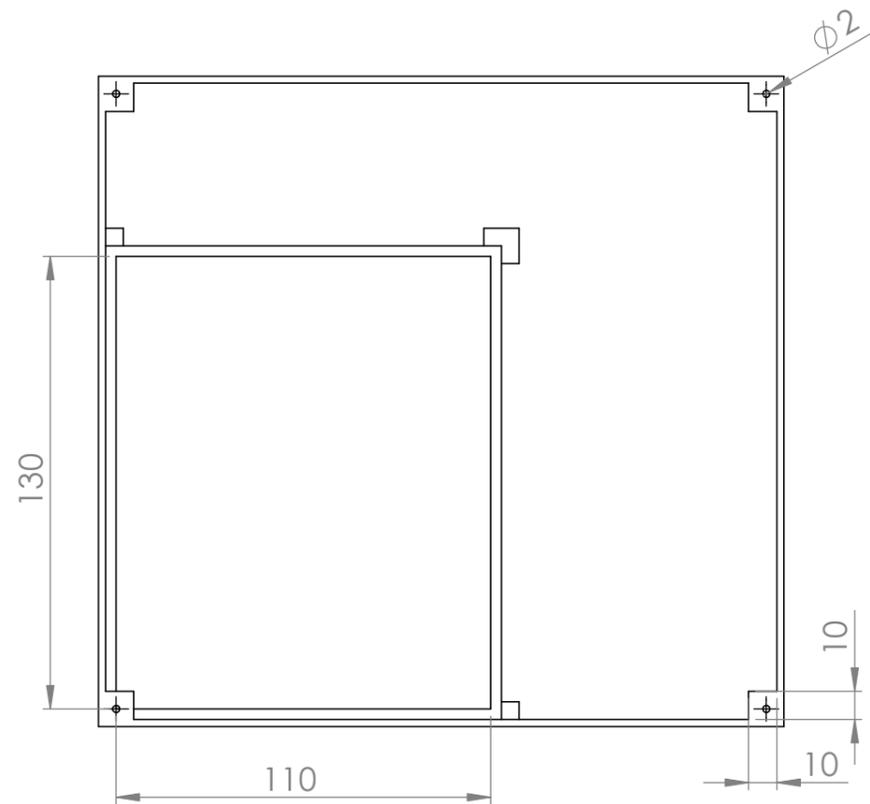
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



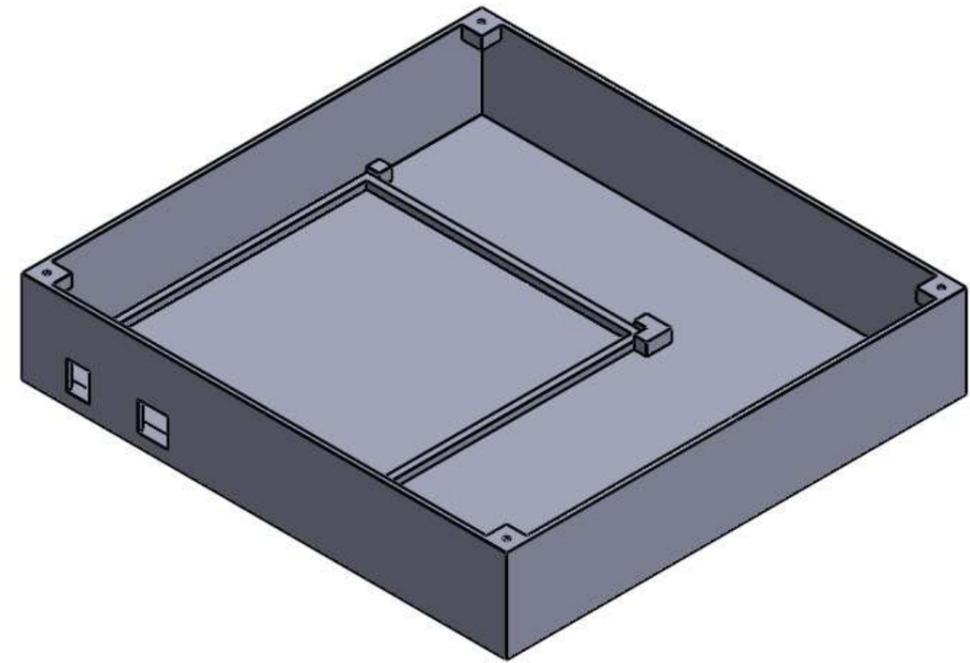
	Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib.	2021	Iza Carlos - Vaca Carlos	1:1		
Rev.	2021	Ing. Luigi Freire			
Apro.	2021	Ing. Luigi Freire			
Materiales:		Tolerancia:	N.º Lámina:	Nombre:	Denominación:
PLA color gris		± 5mm	02	Carcasa Tapa DAQ	UTC- DAQ



VISTA FRONTAL



VISTA SUPERIOR



ISOMETRÍA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



	Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib.	2021	Iza Carlos - Vaca Carlos	1:1		
Rev.	2021	Ing. Luigi Freire			
Apro.	2021	Ing. Luigi Freire			
Materiales:	Tolerancia:	N.º Lámina:	Nombre:	Denominación:	
PLA color gris	± 5mm	02	Carcasa Base DAQ	UTC- DAQ	