



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CIBER-FÍSICO
CON REALIDAD AUMENTADA PARA FACILITAR EL DESARROLLO DE
PRÁCTICAS DE LA ESTACIÓN DE TRABAJO COMPACTA MPS
MEDIANTE EL MONITOREO Y DESPLIEGUE VIRTUAL DE
INFORMACIÓN EN EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN
LATACUNGA.**

**AUTORES: GUALPA YUMI, DAVID ANTONIO
PROAÑO GAMBOA, OSCAR DARIO**

DIRECTOR: ING. GORDÓN GARCÉS, ANDRÉS MARCELO

LATACUNGA

2018



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CIBER-FÍSICO CON REALIDAD AUMENTADA PARA FACILITAR EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LA ESTACIÓN DE TRABAJO COMPACTA MPS MEDIANTE EL MONITOREO Y DESPLIEGUE VIRTUAL DE INFORMACIÓN EN EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”*** fue realizado por los señores ***Gualpa Yumi, David Antonio y Proaño Gamboa, Oscar Darío*** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 15 de Enero del 2019

Firma:



Ing. Andrés Gordón Garcés

C.C.: 1721261921



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, ***Gualpa Yumi, David Antonio y Proaño Gamboa, Oscar Darío***, declaro que el contenido, ideas, y criterios del trabajo de titulación: ***DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CIBER-FÍSICO CON REALIDAD AUMENTADA PARA FACILITAR EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LA ESTACIÓN DE TRABAJO COMPACTA MPS MEDIANTE EL MONITOREO Y DESPLIEGUE VIRTUAL DE INFORMACIÓN EN EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA***, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 15 de Enero del 2019

Firma:

David Gualpa Yumi
C.C.: 0604953976

Firma:

Oscar Proaño Gamboa
C.C.: 1804450078



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Gualpa Yumi, David Antonio y Proaño Gamboa, Oscar Dario** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CIBER-FÍSICO CON REALIDAD AUMENTADA PARA FACILITAR EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LA ESTACIÓN DE TRABAJO COMPACTA MPS MEDIANTE EL MONITOREO Y DESPLIEGUE VIRTUAL DE INFORMACIÓN EN EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 15 de Enero del 2019

Firma:

Firma:

David Gualpa Yumi
C.C.: 0604953976

Oscar Proaño Gamboa
C.C.: 1804450078

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación primero a Dios por haberme permitido llegar a esta etapa guiándome cada paso de mi vida.

A mis padres por todo el apoyo y fuerza que me han brindado durante toda mi vida, consejos y palabras de aliento en los momentos buenos y malos para ser una persona de bien, a mis hermanas por sus consejos y palabras de aliento en todo momento.

Y finalmente y no menos importante a mis amigos de universidad con los cuales he compartido grandes momentos y me han brindado su apoyo moral y humano en los momentos que he necesitado, especialmente a Bismar Villegas un amigo que me acompañó durante toda mi carrera y ahora está en el cielo acompañándonos en todo momento.

David

Dedico el presente trabajo a mi madre por su sacrificio, apoyo incondicional a lo largo de mi vida por siempre estar presente, darme lo mejor en mi formación académica , enseñarme a tratar de siempre hacer las cosas bien pase lo que pase sin buscar el bienestar propio sino el común con todas las personas que nos rodean y más aún cuando se lo merecen, a Jeanpier mi hermano que ha sido un pilar fundamental en mi vida porque siempre lucho por el día tras día, y que con su inocencia siempre me da fuerza aun en los peores momentos, a Byron por siempre ser como un padre para mí por todo el apoyo que me ha brindado siempre, a Fabián mi padre por sus consejos y de igual manera a mis abuelitos, tíos por siempre confiar en mí.

Oscar

AGRADECIMIENTO

Los agradecimientos a todas las autoridades de la Universidad de las Fuerzas Armadas por facilitarnos los recursos necesarios durante todo el tiempo que hemos permanecido en ella y por preocuparse por nuestro bienestar estudiantil

A todos los ingenieros de la Carrera, porque nos han brindado toda su experiencia y conocimientos en cada una de las clases impartidas.

A toda la familia y amigos que de una y otra forma han contribuido para el logro y desarrollo de los objetivos planteados.

Al tutor de tesis Ing. Andrés Gordón, por su ayuda, colaboración y contribuciones brindadas a lo largo del desarrollo de la tesis.

De igual manera a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, debido a que dentro de sus instalaciones han ayudado al desarrollo profesional con la ayuda de los conocimientos impartidos por los docentes y apoyo incondicional de los amigos que siempre tratan de hacer una mejor persona cada día y de los cuales aprendes siempre y están ahí empujándote para que no pierdas fuerzas ni esperanza de cumplir sueños y objetivos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Antecedentes	3
1.3. Justificación e importancia	7
1.4. Objetivos	8
1.4.1. Objetivo General	8
1.4.2. Objetivos específicos	8
1.5. Hipótesis	9
1.6. Variables	9
1.7. Metodología	10

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Sistemas Ciber-físicos	11
2.2. Sistema de realidad aumentada	12
2.3. Herramientas de la realidad aumentada	13
2.4. Motor de Videojuegos	13
2.4.1 Godot.....	14
2.4.2 Unreal Engine 4	15
2.4.3 AppGameKit	16
2.4.4 Unity	17
2.5. Software de diseño de modelos 3D	19
2.5.1 MODO	19
2.5.2 Autodesk 3DS Max	21
2.5.3 Blender	22
2.6. Estación de trabajo compacta MPS	23
2.7. Estación de Control de Procesos (PCS) Compact con pantalla táctil	24
2.7.1. Técnica de control	25
2.8. Estación de Clasificación	25
2.8.1. Detección del material	26
2.8.2. Datos técnicos	26
2.8.3. Objetivos didácticos para el trabajo de proyecto	26
2.9. Estación de Verificación: Enfocada a sensores.....	27
2.9.1. Datos técnicos	27
2.9.2. Objetivos didácticos para el trabajo de proyecto	27
2.10. TIA Portal.....	28
2.10.1. Step 7	28
2.10.2. WinCC	29
2.11. Android Studio	30

	viii
2.11.1. Snap 7	31
2.11.2. Moka7.....	32
2.12. Diagramas UML.....	35
2.13. Proyectos relacionados.....	35

CAPÍTULO III

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

3.1	Parámetros de diseño generales	37
3.2	Diagrama de conexión	38
3.3	Diagrama del sistema Ciber-físico con realidad aumentada.	39
3.4	Selección de componentes	40
3.4.1	Método cualitativo por puntos.	40
3.5.	Alternativas y selección de router	42
3.6.	Alternativas y selección de software para comunicación con PLC	44
3.6.1	Características de Android Studio.....	44
3.6.2	Eclipse	45
3.6.3	App Inventor	46
3.7.	Alternativas y selección de software de motor de video juegos.....	47
3.8.	Alternativas y selección de software para desarrollo de realidad aumentada.....	49
3.9	Selección de software de modelado de objetos 3D.....	51

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

4.1.	Mantenimiento de la Estación de trabajo compacto MPS.	54
4.1.1.	Mantenimiento Mecánico.	55
4.1.2.	Mantenimiento eléctrico y electrónico.	56
4.1.3.	Mantenimiento de comunicación.....	58
4.2.	Diagramas UML.....	77

4.2.1. Diagrama de caso de uso	77
4.2.2. Diagrama de secuencia	77
4.3. Diseño de la aplicación	79
4.3.1. Android Studio con Unity	80
4.3.2. Desarrollo de la interfaz en Unity	85
3.1.1. Realidad aumentada.....	90

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. Pruebas parte Mecánicas	97
5.2. Pruebas parte Eléctricas y conexión.	98
5.3. Pruebas parte Electrónicas y de control.....	99
5.4. Resultados de la interfaz de la aplicación	99
5.5. Pruebas de verificación de aplicación.	104
5.6. Pruebas de la aplicación.....	105
5.7. Análisis e interpretación de resultados encuesta	106
5.7.1. Resultados de la Encuesta	107
5.7.2. Pruebas de usuario.....	113
5.7.3. Prueba de componentes.....	114
5.8. Uso de aplicación en diferentes asignaturas.....	114
5.9. Validación de la hipótesis	115
5.10. Análisis económico	118

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones	120
6.2. Recomendaciones	123

BIBLIOGRAFÍA^x125
ANEXOS132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Herramientas de la realidad aumentada</i>	13
Tabla 2 <i>Funciones Moka7</i>	33
Tabla 3 <i>Funciones ConnectTo</i>	33
Tabla 4 <i>Funciones “readArea” y “WriteArea”</i>	34
Tabla 5 <i>Tipos de datos.</i>	34
Tabla 6 <i>Tabla usada para el método cualitativo por puntos</i>	40
Tabla 7 <i>Alternativas para selección de router</i>	42
Tabla 8 <i>Selección del router</i>	43
Tabla 9 <i>Selección de software para comunicación con el PLC.</i>	47
Tabla 10 <i>Selección de software de motor de video juegos</i>	48
Tabla 11 <i>Alternativas de software de Realidad Aumentada</i>	50
Tabla 12 <i>Selección de software de Realidad Aumentada</i>	51
Tabla 13 <i>Selección de software de modelado de objetos 3D.</i>	52
Tabla 14 <i>Variables de control para ETC.</i>	63
Tabla 15 <i>Parámetros de PID nivel.</i>	74
Tabla 16 <i>Resultados de pruebas parte Mecánicas</i>	97
Tabla 17 <i>Resultado de pruebas parte Eléctricas y conexión.</i>	98
Tabla 18 <i>Resultados de pruebas parte Electrónicas y de control</i>	99
Tabla 19 <i>Calificación del diseño de la aplicación</i>	107
Tabla 20 <i>Facilidad de uso</i>	107
Tabla 21 <i>Información de la App</i>	108
Tabla 22 <i>Realidad Aumentada, calidad de información</i>	109
Tabla 23 <i>Interactividad de prácticas.</i>	110
Tabla 24 <i>Otras funcionalidades</i>	111
Tabla 25 <i>Satisfacción de aplicación</i>	112
Tabla 26 <i>Asignaturas de uso de apk.</i>	114
Tabla 27 <i>Pruebas de funcionamiento.</i>	116
Tabla 28 <i>Cálculo de Chi-cuadrado</i>	117
Tabla 29 <i>Costo del proyecto subtotal 1</i>	118
Tabla 30 <i>Costo del proyecto subtotal 2</i>	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Componentes de un Sistema Ciber-físico	12
Figura 2 Aplicación de realidad aumentada.....	13
Figura 3 Interfaz de GODOT	15
Figura 4 Pantalla principal del editor de Unreal.....	16
Figura 5 Slogan de App Game Kit.....	17
Figura 6 Pantalla principal de Unity	18
Figura 7 Compatibilidad de Unity	19
Figura 8 Interfaz de MODO	20
Figura 9 Interfaz de Autodesk 3DS Max.....	22
Figura 10 Área de trabajo de Blender.....	23
Figura 11 ETC Festo.....	24
Figura 12 PCS.....	25
Figura 13 Est. de clasificación	26
Figura 14 Estación de verificación	28
Figura 15 IDE de Android Studio.....	30
Figura 16 Comunicación del servidor Snap 7	32
Figura 17 Diagrama de conexión	39
Figura 18 Diagrama del Sistema	39
Figura 19 Elementos Seleccionados	53
Figura 20 Componentes de estación ETC	55
Figura 21 Panel eléctrico	57
Figura 22 IP Puerta de enlace	59
Figura 23 Ingreso a router.....	59
Figura 24 Configuración de LAN Host.....	60
Figura 25 Agregar Dispositivos en TIA Portal.....	61
Figura 26 Inserción de los módulos	61
Figura 27 Establecimiento de la dirección IP del PLC.....	62
Figura 28 Configuración del KTP 600.....	62
Figura 29 Programación del main principal.....	65
Figura 30 Ecuación de la pendiente de la recta.	66
Figura 31 Escalamiento de sensor de nivel	68
Figura 32 Creación del bloque de función.....	70
Figura 33 Bloque de datos.	71
Figura 34 Bloque de PID.	71
Figura 35 Algoritmo PID(CONT_C).....	72
Figura 36 Constante proporcional.....	73
Figura 37 Constante Integral.	73
Figura 38 Constante Derivativa	74
Figura 39 Control PID nivel	74
Figura 40 Carátula de KTP 600	75
Figura 41 Ventana de PID nivel.....	75

Figura 42 Ventana de PID de temperatura	76
Figura 43 Ventana de procesos.....	76
Figura 44 Diagrama de caso de uso aplicación	77
Figura 45 Diagrama de secuencia de adquisición	77
Figura 46 Diagrama de secuencia de control	78
Figura 47 Diagrama de secuencia de cámara.....	78
Figura 48 Diagrama de flujo de la aplicación.....	79
Figura 49 Pasos previos para la creación archivo classes.jar.....	81
Figura 50 Generación de módulo creado.....	81
Figura 51 Creación archivo classes.jar.....	82
Figura 52 Creación de proyecto Unity.	82
Figura 53 Parámetros del guardado automático 1.....	83
Figura 54 Parámetros del guardado automático 2.....	83
Figura 55 Utilizar funciones de Unity	84
Figura 56 Importación librería Moka7	85
Figura 57 Inserción de fondo	85
Figura 58 Componentes de una escena.	86
Figura 59 Asignación de botones.....	87
Figura 60 Animación de botones.....	88
Figura 61 Opciones de animación de botones	88
Figura 62 Scripts utilizados.	89
Figura 63 Pasos para cargar la apk al celular.	89
Figura 64 Diagrama de sistema de reconocimiento.	90
Figura 65 Procedimiento realidad aumentada.....	91
Figura 66 Licencia para usar vuforia.....	91
Figura 67 Forma de cargar Image Target	92
Figura 68 Verificación de calidad	92
Figura 69 Base de datos Vuforia	93
Figura 70 Activación de vuforia	93
Figura 71 Agregar componente.....	93
Figura 72 Implementación del Image Target.....	94
Figura 73 Ingreso a AR Camera.....	94
Figura 74 Activación de base de datos.	95
Figura 75 Configuración de Image Target.	95
Figura 76 Verificación de Image Target.	96
Figura 77 Agregar objetos a image Target.	96
Figura 78 Descripción de aplicación.	100
Figura 79 Pantalla principal.....	100
Figura 80 Escena de manuales.....	101
Figura 81 Instrucciones.	101
Figura 82 Escena de programa.	102
Figura 83 Escena de monitoreo.	102
Figura 84 Escena de control.	103

	xiv
Figura 85 Escena de ARN.....	103
Figura 86 Escena de Despliegue de información.....	104
Figura 87 a) Datos aplicación, b) Datos TIA Portal.....	105
Figura 88 Diagrama de pruebas de aplicación.....	106
Figura 89 Uso de la apk.....	106
Figura 90 Calificación del diseño de la aplicación.	107
Figura 91 Facilidad de uso.....	108
Figura 92 Información de la Apk.....	108
Figura 93 Realidad Aumentada, calidad de información.....	109
Figura 94 Interactividad de prácticas.....	111

RESUMEN

El presente trabajo de titulación realiza el diseño e implementación de un sistema ciberfísico con realidad aumentada el cual está basado en el monitoreo y control de variables de la estación de trabajo compacta MPS Festo. El proyecto está implementado como una aplicación para dispositivos Android en el cual cualquier estudiante puede descargarse la aplicación, conectarse a la red de la Estación y monitorear en tiempo real todos los datos de los sensores tanto analógicos como digitales de la estación. También permite controlar los actuadores de la estación como la bomba, válvula proporcional, válvula de bola, calentador y se puede visualizar de forma 3D que componente se activa o se desactiva. Esta aplicación también detalla la forma correcta de realizar el control PID de nivel y temperatura de la máquina mediante la interacción de realidad aumentada, así como también recalca todas las características de los componentes de la estación. Para el correcto encendido y puesta en marcha de la estación, la aplicación contiene información sobre los detalles que el usuario debe considerar para el encendido correcto de la máquina. La aplicación fue realizada en los softwares de desarrollo Android Studio y Unity. En Android Studio se logró la comunicación entre los PLC y cualquier dispositivo conectado a la red y en el software Unity se diseñó la interfaz de la aplicación en realidad aumentada.

PALABRAS CLAVE:

- **SISTEMA CIBER-FÍSICO**
- **REALIDAD AUMENTADA**
- **SENSORES - MONITOREO DE VARIABLES**
- **INTERACCIÓN VIRTUAL**

ABSTRACT

The present work performs the design and implementation of a cyber-physical system with augmented reality which is based on the monitoring and control of variables of the compact workstation MPS. The project is implemented as an application for Android devices in which any student can download the application, connect to the station network and monitor in real time all the station data from analog and digital sensors. It also controls the station actuators such as a pump, a proportional valve, a ball valve, a heater and can be display in a 3D format which component is activated or deactivated. This application also details the correct way to perform PID level and temperature control of the machine through the interaction of augmented reality, as well as emphasizes all the features of the components of the station. For the correct ignition and start up of the station, the application contains information about the factors that the user must take into account for the correct ignition of the machine. The application was made with the development software Android Studio and Unity. The communication between the PLC and any device connected to the network was achieved in Android Studio and with Unity software was designed the interface of augmented reality application.

KEYWORDS:

- **CYBER PHYSICS**
- **AUGMENTED REALITY**
- **SENSORS-VARIABLE MONITORING**
- **VIRUTAL INTERACTION**

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Planteamiento del Problema

La mayoría de los países latinoamericanos carecen de una estrategia adecuada para incorporar nuevas tecnologías como los sistemas ciber-físicos y la realidad aumentada en procesos industriales, lo que representa una desventaja a nivel internacional, debido a que las empresas pierden competitividad en el mercado y reducen sus niveles de eficiencia productiva.

En el Ecuador, la utilización de nuevas tecnologías se limita a un reducido grupo de estudiantes y profesionales que vienen desarrollando investigaciones que involucran este tipo de sistemas y complementos, pero lamentablemente la tecnología en el Ecuador no se actualiza al ritmo de los países de primer mundo, lo que representa un grave problema para el desarrollo de la industria ecuatoriana por no realizar cambios en su matriz productiva con miedo de pérdidas lo cual no les deja separarse de estrategias remotas que solo mantienen la producción y no la mejoran.

Como no se cuenta de sistemas que ayuden a un operador a manipular un proceso se generan varios inconvenientes como el gasto de recurso humano que siempre debe estar realizando una inspección directa de un solo proceso a la vez de acuerdo a como se encuentre dividida la empresa o área a la que se le asigne, además es importante tomar en cuenta que al no tener un monitoreo adecuado de las variables de proceso se

recurre a un mal uso del equipo por parte de operadores que pueden tener desconocimiento o simplemente son jóvenes y no conocen las instalaciones , generando un malestar debido a que no se obtiene guías específicas de cómo se debería dando como resultados en muchos casos en caídas de producción y en los peores daños de equipos que son gastos cuantiosos para la empresa.

En las universidades se realizan prácticas de laboratorio para que los estudiantes se familiaricen con los procesos industriales de una forma un poco más didáctica, pero el problema es que no se ha tomado iniciativa para mejorar la experiencia del estudiante sino se está recurriendo a las mismas técnicas desde décadas atrás, en donde el estudiante obtiene unas hojas guías para que siguiendo paso a paso ejecute la práctica correctamente (Álvarez, 2015), sin embargo, este método de enseñanza aprendizaje es muy anticuado, es por esto que los institutos educativos deben innovar sus procesos de enseñanza, como por ejemplo un despliegue virtual de información acerca de la planta de trabajo, ya que esta es una estrategia didáctica para poder llegar a captar la atención del estudiante y pueda adquirir la información más fácilmente (Navarrete, Álvarez Pozos , Flores Pérez , & Camelo Avedoy , 2017).

Cuando los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga necesitan realizar prácticas de laboratorio, deben tomar en cuenta que los manuales se encuentran en idiomas ajenos al pensum de estudio, dificultando la interpretación y uso de información de equipos industriales. Los procedimientos de las guías de prácticas de laboratorio poseen limitación de información, falta de interacción entre el equipo, proceso y operador, lo que provoca que no todos los estudiantes lleguen

a manipular la estación de trabajo ni tampoco estén capacitados para el uso del equipo a nivel institucional e industrial.

Con la aparición de las nuevas tecnologías y al no estar siendo utilizado ni siquiera en el ámbito educativo como una parte de inserción laboral al momento de querer desempeñar trabajos en otros países podría traer como consecuencias pérdida de interés por parte de varios sectores debido a que no estaría a la altura de poder implementar o manejar este tipo de sistemas, lo que da como resultado un truncamiento en base al desarrollo científico de los estudiantes y disminuir sus aspiraciones laborales por no contar con las herramientas necesarias para un adecuado aprendizaje (Aguilar Galicia, Zarate Nava, Mendoza González, & Padilla Flore, 2013).

1.2. Antecedentes

El sector industrial desde los inicios ha buscado innovar sus procesos mediante el uso de nuevas tecnologías, mientras que, debido a la globalización, las empresas se han visto obligadas a buscar distintos modelos económicos desde un punto de vista estratégico. (Torre las Heras, 2016)

En la actualidad se está manejando una cuarta Revolución Industrial denominada también como Industria 4.0, donde este tipo de sistemas de automatización y control permiten adaptar distintas funcionalidades a procesos industriales mediante el uso de conexiones de red a través del internet, (Murillo & Díaz, 2017) de forma remota , mediante distintas plataformas que brinden seguridad al momento de realizar el monitoreo de un proceso industrial (Londoño , 2017).

Los sistemas ciber-físicos abarca a la industria 4.0 y se basa en distintos tipos de tecnologías como macro datos (Big Data), Computación en la nube (Cloud Computing), Fabricación Aditiva, Impresión 3D, Robótica Colaborativa, etc.

Los sistemas ciber-físicos son considerados como un nuevo tipo de sistema inteligente, que permite la integración entre procesos físicos con componentes computacionales alcanzando de esta manera una mayor eficiencia, sostenibilidad, y robustez con respuestas que sean rápidas, precisas y confiables en aplicaciones como redes energéticas, robots que realizan cirugías, líneas de manufactura y campos de la ingeniería moderna, permitiendo de esta manera que las personas interactúen con el ambiente. Entre las principales metodologías para el diseño de un sistema ciber-físico se encuentra el control en red, basado en eventos distribuido y el control basado en pasividad. (Villalonga, 2016)

La realidad aumentada se ha desarrollado como una de las tecnologías en relación al desarrollo de la enseñanza y aprendizaje, buscando de esta manera que un estudiante pueda desarrollar y utilizar un conocimiento sobre un fenómeno que pueda ser observado (Aguilar Galicia, Zarate Nava, Mendoza González, & Padilla Flore, 2013). La realidad aumentada tuvo sus inicios únicamente en el mundo cinematográfico y fotógrafo (Abud Figueroa, 2012), pero en la última década la realidad aumentada y su programación ha ido en crecimiento en distintas zonas: a nivel industrial, educativo, servicios y recreativos. Una de las amplias aplicaciones y un claro ejemplo son libros como: el “MagicBook” o “El Libro de los Hechizos”, que implementan realidad aumentada para mejorar el rendimiento y concentración de los estudiantes mediante libros didácticos.

En la mayoría de los procesos industriales, domésticos o comerciales se dispone de una gran cantidad de información que involucran a objetos del mundo real, y la realidad aumentada se presenta como el medio que une y combina dicha información con los objetos del mundo real. (X.Basagain, Olabe, Espinosa, & Roueche, 2014)

Muchos institutos universitarios europeos han optado por incluir métodos de enseñanza nuevos con el afán de mejorar los niveles de desempeño de los estudiantes. Los ambientes virtuales de enseñanza adoptados en los centros de educación superior facilitan el aprendizaje de las materias cursadas. (Pan, Cheok, Yang, Zhu, & Shi, 2016)

Las aplicaciones multimedia de realidad aumentada cuentan con diversos formatos como texto, imágenes, vídeo, animaciones y sonido, para presentar el material académico, y estas herramientas complementan los métodos tradicionales de enseñanza, dado que los contenidos, objeto de estudio, se proyectan en un modo muy sugerente e interesante para el estudiante. (Martinez & Carracedo, 2012)

La estación de trabajo compacta MPS permite el estudio de criterios industriales con fines didácticos, debido a que esta estación permite al estudiante adquirir mediante prácticas las competencias en relaciones humanas, profesional técnica, y en materia de métodos. El uso de la estación de trabajo MPS ayuda a los estudiantes a desarrollar las habilidades de trabajo en equipo, cooperación y organización, así como la implementación de fases reales de proyectos, entre ellas, las siguientes: planificación, montaje, programación, puesta en funcionamiento, funcionamiento, optimización de

parámetros de regulación, mantenimiento, localización de fallos. (Helmich & Kaufmann , 2006)

Debido a la aparición de nuevas tecnologías como la Industria 4.0, se necesitan profesionales que estén aptos para poder desarrollar, implementar y manejar este tipo de tecnologías debido a esto según el Acta resolutive sesión ordinaria No.24 del 12 de julio de 2017, la carrera de ingeniería mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sufre un rediseño en su malla curricular según la resolución RPC-SQ·Z4-No.476-ZQ17 (Consejo de Educación Superior, 2017), en donde se destaca la aparición de nuevas materias como : Bases Fundamentales de la Ingeniería Mecatrónica, Instrumentación Aplicada a Mecatrónica, Introducción a Sistemas Ciber-físicos, Sistemas Mecatrónicos , estas a su vez se complementan con materias como PLC, Redes Industriales, Sistemas de control. (Ingeniería Mecatrónica, 2018)

El uso de la tecnología móvil está generando profundas transformaciones en diversos ámbitos de la vida cotidiana. Éstas se pueden apreciar en espacios económicos globales, como los ámbitos de la producción y del consumo, así como también en la interconexión entre una persona y el mundo. Los teléfonos móviles se han convertido en los principales medios de conexión a la red, logrando así una nueva modalidad educativa, ya que la era digital ha transformado los métodos de enseñanza utilizando las constantes innovaciones tecnológicas para satisfacer las necesidades comunicativas que origina la sociedad, de modo que las tecnologías móviles están sirviendo como base para reestructurar el panorama educativo. (Rivas, 2012).

1.3. Justificación e importancia

El proyecto brinda una solución a los problemas de enseñanza y aprendizaje en la realización de prácticas de laboratorio por parte de los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica mediante la implementación del sistema ciber-físico con realidad aumentada.

Mediante el uso de un sistema ciber-físico se puede integrar diferentes tipos de capacidades como las de computación, almacenamiento y comunicación para de esta manera realizar un control e interacción con un proceso físico. Este tipo de sistemas por lo general se encuentran interconectados con el mundo virtual y redes digitales globales (Arroyo, 2015), y este tipo de sistema se puede relacionar con el uso del internet de las cosas que consiste en que los objetos interactúen con el supervisor de manera remota en base a la información y la misma pueda gestionarse a través de ordenadores en beneficio de los humanos. Esta tecnología está en auge ya que impulsa la eficiencia en la gestión de los objetos, especialmente en su mantenimiento, rendimiento, control de su obsolescencia, riesgos, etc. (Hernandez, 2017)

La realidad aumentada ha ido evolucionando y cubriendo muchas necesidades de las personas, pero en la que más se destaca es en la educación, enseñanza y aprendizaje y esta está desplazando paulatinamente a los métodos tradicionales. (Martinez & Carracedo, 2012)

Actualmente, las industrias están implementando esta “conectividad inteligente de dispositivos” en sus fábricas para poder afrontar los datos y la inteligencia en tiempo real y convertirse así en compañías conectadas. (Proaño, 2017)

El presente proyecto ayuda al desarrollo de conocimientos de los estudiantes de ingeniería mecatrónica que se ven afectados por el rediseño de la malla curricular, la cual se orienta al uso de nuevas tecnologías como los sistema ciber-físicos donde se integra la Industria 4.0, y por ende es beneficioso que la universidad tenga a su disposición equipos que se ajusten al nuevo pensum de estudio permitiendo así que los estudiantes se introduzcan en las nuevas materias como : Bases Fundamentales de la Ingeniería Mecatrónica, Instrumentación Aplicada a Mecatrónica, Introducción a Sistemas Cyberfísicos, Sistemas Mecatrónicos (Ingeniería Mecatrónica, 2018).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema ciber-físico con realidad aumentada para facilitar el desarrollo de prácticas de la estación de trabajo compacta MPS mediante el monitoreo y despliegue virtual de información en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

1.4.2. Objetivos específicos

- Investigar sobre el uso e implementación de un sistema ciber-físico con realidad aumentada.

- Implementar el sistema ciber-físico para el monitoreo de variables de presión y nivel de la estación de trabajo compacta MPS.
- Programar la información virtual mediante el uso de software orientado a la creación de videojuegos para la creación de guías de prácticas de laboratorio de la estación de trabajo compacta MPS.
- Diseñar esquemas gráficos en 3D de los componentes que conforman la estación de trabajo compacto MPS.
- Crear una aplicación para dispositivos móviles con sistema operativo Android que integre el sistema ciber-físico y la realidad aumentada.
- Evaluar el funcionamiento del sistema ciber-físico con realidad aumentada en la estación de trabajo compacta MPS.

1.5. Hipótesis

¿El Sistema Ciber-físico con realidad aumentada facilitará el desarrollo de prácticas de la estación de trabajo compacta MPS mediante el monitoreo y despliegue virtual de información en el Laboratorio de Mecatrónica?

1.6. Variables

Variables Independientes: Sistema Ciber-físico con realidad aumentada.

Variables Dependientes: Facilidad de desarrollo de prácticas de laboratorio, monitoreo y despliegue virtual de información.

1.7. Metodología

El proyecto se pretende desarrollar con la siguiente metodología:

- Método Bibliográfico: Este tipo de metodología será aplicada en base a información documental mediante técnicas y estrategias para localizar la información requerida y relacionada necesaria para diseñar e implementar un sistema Ciber-físico con realidad aumentada.
- Método experimental: Con este método se busca comprobar el correcto funcionamiento del sistema Ciber-físico y su comunicación.
- Método deductivo: Es aquel que en base a principios y conocimientos descubiertos permitirá obtener aspectos particulares que servirán para el desarrollo del presente proyecto; pudiendo basarse la investigación de este proyecto en otras similares donde se apliquen sistemas Ciber-físicos con realidad aumentada.
- Método de científico: En este método se buscará obtener conocimientos generales, ciertos y comprobables para verificar la hipótesis planteada en el proyecto de investigación. Enfocado también en el desarrollo del proyecto en sí donde se deberá realizar pruebas de funcionamiento para el adecuado funcionamiento.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Sistemas Ciber-físicos

Los Sistemas Cibernéticos Físicos (CPS) son integraciones de computación, redes y procesos físicos como se puede apreciar en Figura 1. Las computadoras, las redes integradas son las encargadas de realizar un monitoreo y control de los procesos físicos, con bucles de retroalimentación donde los procesos físicos pueden variar. El potencial tanto de carácter económico como social de esos sistemas es mucho mayor de lo que se ha logrado, y se están haciendo grandes inversiones en todo el mundo para desarrollar la tecnología. (Pillajo & Sierra, 2016)

La aplicación de CPS a ámbitos como la fabricación, la movilidad, el mantenimiento, control de edificios, infraestructuras, dentro de la salud, así como también en la energía generando un elevado atractivo, originando de esta manera bastantes oportunidades de innovación, mejoramiento tecnológico, aplicaciones y hasta pueden ser modelos de negocio. Para ello los CPS deben tener ciertas características importantes como que sean escalables, adaptables, seguros, distribuidos, reactivos, y deben considerarse que deben generar una interacción con el entorno donde se encuentran los (Pillajo & Sierra, 2016)

Los componentes de un sistema ciber-físico, se muestran a continuación en la siguiente imagen:

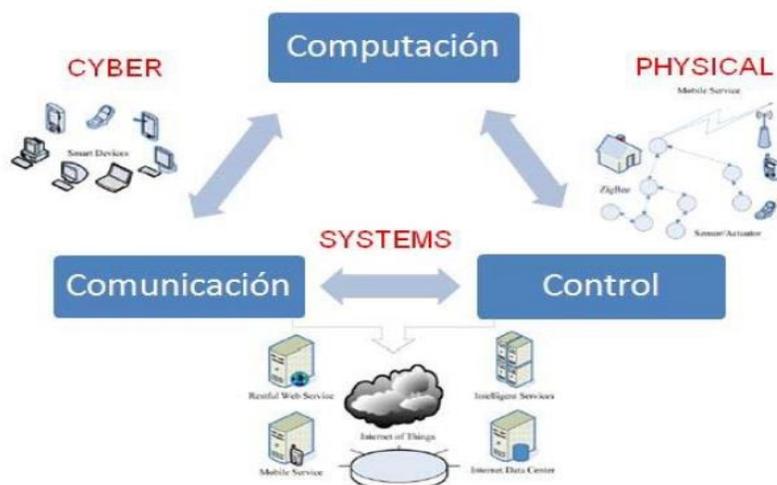


Figura 1 Componentes de un Sistema Ciber-físico
Fuente: (U. P.B, 2017)

2.2. Sistema de realidad aumentada

La realidad aumentada es una de las tecnologías que van creciendo a pasos agigantados, la misma que se puede decir que es híbrida debido a la combinación generada el mundo real con información que sea virtual, en donde se puede insertar que gráficos u objetos virtuales en un entorno que sea real como se puede apreciar en la Figura 2.

Los autores (Sandoval & Badilla, 2017) mencionan que “la realidad aumentada tiene 3 características para poder ser identificada como son las interacciones que deben ser siempre en tiempo real, posicionar a los objetos virtuales tridimensionales (3D) y llegar a obtener un entorno real”.

En la Figura 2 se muestra una aplicación de realidad aumentada que muestra en la pantalla el cuerpo humano en realidad aumentada.

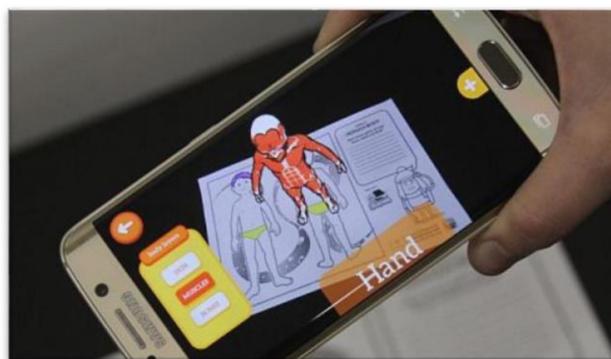


Figura 2 Aplicación de realidad aumentada

Fuente: (Gavilanez, 2018)

2.3. Herramientas de la realidad aumentada

De acuerdo con la página web (Alfa, 2017) existen diversas aplicaciones para la creación de realidad aumentada en dispositivos móviles, pero cada una de estas tienen sus respectivas características, en la Tabla 1 se muestran las características.

Tabla 1

Herramientas de la realidad aumentada

Infraestructura AR	Compañía	Licencia	Plataformas Compatibles
Vuforia	Qualcomm	Libre y Comercial	Android, iOS, Unity
ARToolkit	DAQRI	Libre	Android, iOS, Windows, Linux, Mac OS X, SGI
WikiTude	Wikitude GmbH	Comercial	Android, iOS, Google Glass, Titanium, Xamarin, M-100.
LayAR	BlippAR Group	Comercial	iOS, Android, BlackBerry
Kudan	Kudan Limited	Comercial	Android, iOS, Unity

Fuente: (Alfa, 2017)

2.4. Motor de Videojuegos

Las herramientas dedicadas al desarrollo de juegos reciben el nombre de Motor de Videojuegos (Game Engine), son software que poseen una gama variada de

herramientas requeridas para realizar, diseñar y desarrollar videojuegos en general para diferentes plataformas, los mismos que tienen un motor que sirve para el renderizado de gráficos ya sean en 2D y 3D y de esta manera permite tener diferentes funcionalidades entre las más destacadas la detección de colisiones, uso de sonidos, scrips que contiene la programación de objetos, animación de elementos CAD, redes, administración de memoria entre otros (Arce, 2011).

Las herramientas de desarrollo de juegos multiplataforma son muy variadas y una con características mejores o peores que otras como, por ejemplo:

2.4.1 Godot

Godot es un motor de Videojuegos dentro del cual existe un gran conjunto de herramientas comunes, permitiendo de esta manera realizar crear los juegos con bases ya elaboradas y no arrancando desde cero. Este software es de código abierto y gratuito que se encuentra bajo la licencia muy permisiva del MIT. Es decir, no tiene condiciones, ni tampoco regalías, por lo cual el juego y todas las líneas de código que desarrollas son tuyas. (Godot Engine, 2018)

Este programa posee diferentes características entre las más importante tenemos:

- Posee nodos, es decir los cientos de nodos incorporados hacen que el diseño del juego sea una brisa. También este puede ser personalizado, a gusto del desarrollador mediante el uso de editores y necesidades que se requieran.
- Sistema flexible de escena. Crea variadas composiciones con nodos que permiten dar un soporte de instancias y herencia.

- Editor visual, maneja una interfaz que es interactiva para el usuario debido a que es sensible al contexto y posee diferentes funcionalidades como se aprecia en la Figura 3.
- Edición en vivo persistente donde cada uno de los cambios que se le vaya realizando no se pierden si el juego es detenido. ¡Incluso funciona en dispositivos móviles!
- Pueden crearse herramientas que sean propias y personalizadas mediante el increíble sistema de herramientas.
- Alpha 2 es una arquitectura correspondiente al servidor ARVR que posibilita VR y AR en Godot.

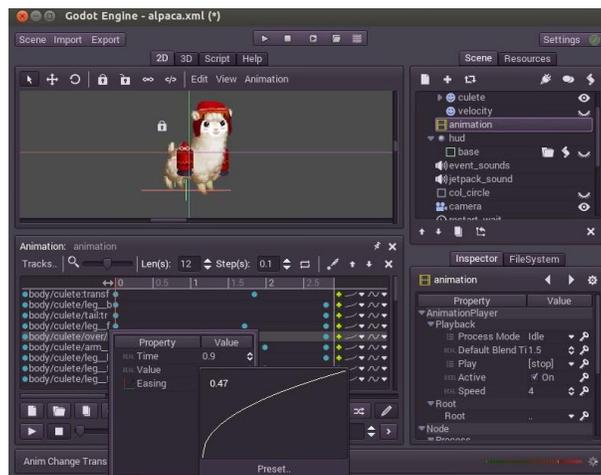


Figura 3 Interfaz de GODOT

Fuente: (Slant, 2019)

2.4.2 Unreal Engine 4

El software Unreal Engine es un conjunto de herramientas enfocado en la creación de videojuegos con visiones artísticas y, flexibles, este motor establecido es líder en la industria debido a que posee un rendimiento potente y confiable. (Unrealengine, 2019)

- Sistemas modulares preconstruidos y con área de trabajo amigable al usuario como se muestra en la Figura 4.
- Plugins personalizables e integración de control de fuentes le permiten satisfacer las necesidades únicas de cada proyecto.
- Posee renders foto-realistas con una altísima calidad que permite experiencias inmersivas de realidad aumentada y realidad virtual para la arquitectura.
- La tecnología de juegos y demos son probadas regularmente para poder sacar el máximo provecho en diferentes tipos de plataformas a nivel mundial.
- Posee soporte para las APIs de renderizado de Vulkan y Metal, Unreal le permite ofrecer diferente contenido para los dispositivos móviles.
- Uso gratuito, cuando realice el pago del 5%.



Figura 4 Pantalla principal del editor de Unreal

Fuente: (Unrealengine, 2019)

2.4.3 AppGameKit

AppGameKit es un motor de desarrollo de juegos que posee una manera de fácil aprendizaje, además es ideal para principiantes, aficionados y desarrolladores indios. (Appgamekit, 2018)

- Permite codificar y crear aplicaciones de manera rápida.
- Maneja múltiples plataformas utilizando el sistema de manejo de scrips de AppGameKit.
- Permite que con pocos comandos desarrollar demostraciones y juegos para diferentes dispositivos móviles.
- Fácil codificación, compilación y luego exportar aplicaciones a cada plataforma
- Posee costo de cada uno de los complementos a utilizar.
- Se caracteriza por tener un eslogan muy llamativo como se puede apreciar en la Figura 5.



Figura 5 Slogan de App Game Kit.

Fuente: (Appgamekit, 2018)

2.4.4 Unity

Unity es un potente software que se caracteriza por ser un motor dedicado al desarrollo de la tecnología 2D como 3D, así como también diferentes contenidos interactivos, está disponible en Windows y Mac, posee varias herramientas que son fáciles de usar para el desarrollador del diseño de distintos mundos de juego ya sean inmersivos dando de esta manera las mejores experiencias al usuario, como se aprecia

en la Figura 6, posee UI incorporado que permite desarrollar diferentes interfaces de usuario de una forma que sea rápida e intuitiva.

Considerado como una plataforma líder a nivel industrial que maneja alrededor de más de 25 plataformas móviles, escritorio, consola, TV, VR, AR y la web, teniendo en cuenta de que posee una tienda llamada Asset Store que permite elegir entre miles de assets y herramientas de producción que son totalmente gratuitas o de paga de acuerdo al creador (Unity, 2018).

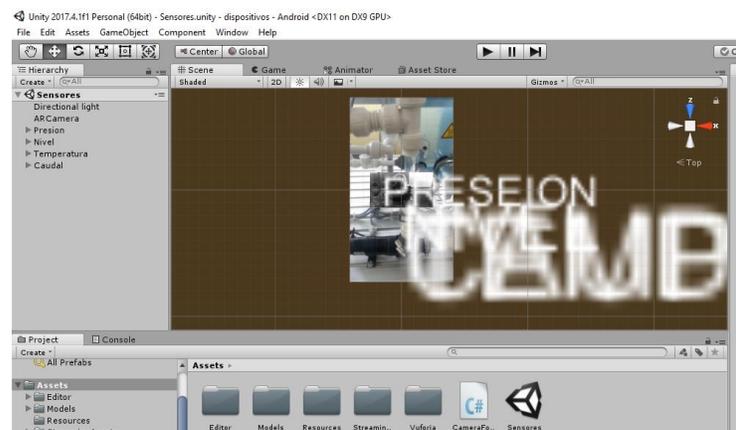


Figura 6 Pantalla principal de Unity

Fuente: (Milanes, 2018)

a. Vuforia

Vuforia es un SDK que permite construir aplicaciones basadas en la Realidad Aumentada; la aplicación que usa Vuforia se encarga de entrelazar los elementos del mundo real con virtuales como pueden ser animaciones, objetos en 3D, textos, imágenes (Cruz, 2014). Como se indica en la Figura 7, Vuforia posee una compatibilidad directa con Unity y dispositivos Android , además siempre se mantiene buscando nuevas formas de crear experiencias con mejores funcionalidades con respecto a la realidad aumentada

y se lo ha mostrado en base al manejo de una variedad de dispositivos y soporte de sistema operativo, teniendo en cuenta que en la actualidad Vuforia viene incorporado con las versiones más actuales de Unity (Vuforia, 2018).

Unity es compatible con Vuforia SDK y Android SDK, como se muestra en la imagen inferior, es por esto por lo que utiliza todas las librerías y complementos de ambos programas sin ningún inconveniente.



Figura 7 Compatibilidad de Unity

Fuente: (Vazquez, 2018)

2.5. Software de diseño de modelos 3D

2.5.1 MODO

MODO posee herramientas creativas para el modelado, texturizado y renderizado de los elementos y objetos 3D, además, permite realizar una exploración y desarrollar cualquier tipo de idea sin tomar en cuenta las diferentes dificultades técnicas. (Foundry, 2018)

- Posee un conjunto de herramientas de modelado más rápido de la industria.

- Tiene un medio que permite realizar la exploración creativa, donde además se puede realizar todo lo que este dentro de la creatividad del desarrollador tomando en cuenta la vasta gama de herramientas como se puede apreciar en la Figura 8.
- Iteraciones más rápidas: Posee un avanzado visor fotorrealista y de renderizado progresivo, permite visualizar tus diseños a medida que los desarrollas.
- Un ajuste personalizado para su flujo de trabajo: Permite que cada usuario pueda construir su propio kit de herramientas especializadas, para un trabajo eficiente.
- Valor inmediato: Ofrece modelado, texturizado, pintura, escultura y renderizado fotorrealista en un paquete de creación de contenido cohesivo y de fácil uso.
- Permite adaptarse a las diferentes necesidades, con APIs, Python y C++; una interfaz de usuario totalmente personalizable.

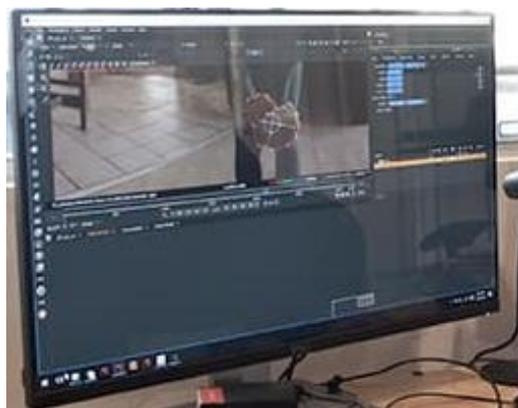


Figura 8 Interfaz de MODO

Fuente: (Foundry, 2018)

2.5.2 Autodesk 3DS Max

Fue desarrollado por la compañía Autodesk , este software es dedicado en su mayor porcentaje al modelado, renderización y animación de objetos en 3D, permitiendo de esta manera la creación de vastos mundos relacionados a juegos tomando en cuenta las características necesarias en donde se puede visualizar un excelente diseño y al mismo tiempo brindar una buena experiencia al momento de utilizar realidad virtual. (Autodesk, 2019)

Las principales características de este software son:

- Modelado sencillo y potente: Puede Crear, dar forma y definir diferentes tipos de entornos y personajes con distintos detalles como se ve en la Figura 9.
- Renderización de alta gama: Mediante el 3ds Max se puede utilizar la mayoría de los renderizadores reconocidos (Arnold, V-Ray e Iray).
- Animación 3D eficaz: El tipo de escenas realistas y personajes son 100% reales así sean muy imaginativos.
- Interoperabilidad flexible: El 3ds Max puede fusionarse con software diferentes como Revit, Inventor y Fusión 360 SketchUp, Unity y Unreal.
- Licencia gratuita para estudiantes de 3 años

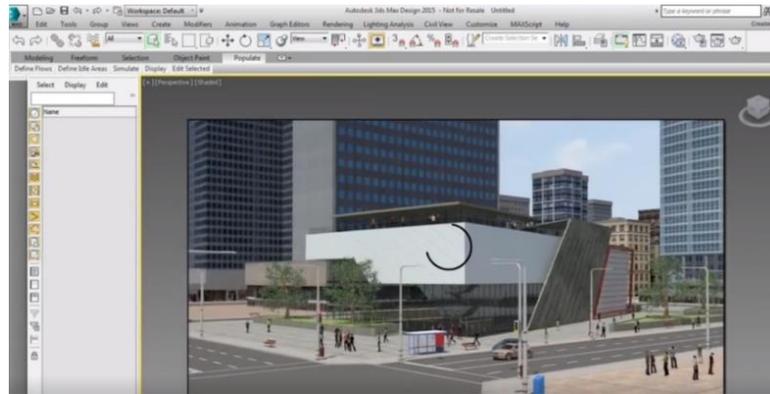


Figura 9 Interfaz de Autodesk 3DS Max
Fuente: (Autodesk, 2019)

2.5.3 Blender

Blender es una plataforma encargada de la creación 3D gratuita y de código abierto. Permite el soporte para poder realizar distintos tipos de modelados como tuberías en 3D, animación, composición, renderizado, simulación y seguimiento de movimiento, también la edición de vídeo y creación de juegos. (Blender Foundation, 2018)

- Cycles es el potente motor incorporado de Blender que ofrece un rendimiento ultra realista y sin sesgos.
- Interfaz flexible controlada por Python. El diseño, los colores, el tamaño e incluso las fuentes se pueden ajustar como se puede apreciar en Figura 10.
- Abre una libertad de flujo de trabajo inigualable para los usuarios de Storyboarding y los artistas 2D.
- Tomando en cuenta las herramientas de animación y rigging de alta calidad, Blender se está utilizando para numerosos cortometrajes, anuncios, series televisivas y largometrajes.

- Permite importar imágenes en bruto, realizar un seguimiento de las imágenes, enmascarar áreas y ver los movimientos de la cámara en directo en su escena 3D.
- Vasta gama de herramientas que ayudan al modelado de Blender hace que crear, transformar y editar tus modelos sea muy sencillo.
- Licencia gratuita.



Figura 10 Área de trabajo de Blender.

Fuente: (Blender Foundation, 2018)

2.6. Estación de trabajo compacta MPS

Como se puede apreciar en la Figura 11, la estación de trabajo maneja cuatro tramos los mismos que pueden trabajar en conjunto o de forma individual, los controles y las unidades de control no están fijos, sino que se encajan de manera sencilla en el bastidor de montaje ER. (Festo, 2018)

Cuando es necesario usar un abastecimiento y tratamiento de aguas se opta por utilizar asiduidad, también válvulas que sean de accionamiento neumático, hay que

tomar en cuenta que esta estación de trabajo tiene un sistema eléctrico, conexión Ethernet, y cuenta además con un montaje en escuadra de fijación, aparato de medida multifuncional AC PAC 4200 permite efectuar una determinación del rendimiento total incl. conexión Ethernet, montaje en panel frontal de 19" y Software: FluidLab®-PA energy (Festo, 2018)



Figura 11 ETC Festo

Fuente: (Festo, 2008)

2.7. Estación de Control de Procesos (PCS) Compact con pantalla táctil

Esta estación permite controlar 4 tipos de variables: temperatura, caudal, nivel, presión que pueden controlarse de forma individual o en combinación con otros, dependiendo del software de control (PLC, software de control integrado en PC, consolas de simulación, regulador industrial) (Mayor, 2017)

Al introducirse al mundo del control industrial y control de procesos al principio siempre hay que resolver las técnicas de control y regulación básicas, es por esto que es de gran utilidad la estación "Process Control System", ya que el alumno se adentra en este mundo

ya que conoce de mejor manera el funcionamiento de los sensores, actuadores y su respectivo manejo (Mayor, 2017).

2.7.1. Técnica de control

La utilización es utilizada para la enseñanza del funcionamiento de un PLC, para ello se pueden aprovechar señales de entrada y de salida, analógicas y digitales. (Mayor, 2017)

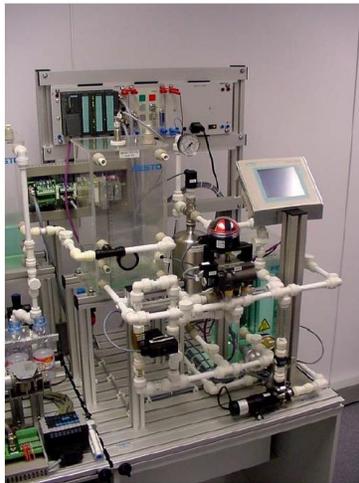


Figura 12 PCS

Fuente: (Mayor, 2017)

2.8. Estación de Clasificación

Esta estación clasifica las piezas en 3 rampas como se aprecia en la Figura 13. Los sensores detectan las características de las piezas como el color y el material, y mediante esto mandan a activar desviadores clasificadores que son accionados por cilindros de carrera corta que logran dirigir las piezas a rampas dependiendo de su característica. (Festo, 2018)

2.8.1. Detección del material

Sensores ópticos e inductivos detectan el color y el material de las piezas. Cilindros de carrera corta detienen la pieza en el transportador y la pasan para clasificación en una de las tres rampas. (Festo, 2018)

2.8.2. Datos técnicos

- Presión de funcionamiento 600 kPa (6 bar)
- Alimentación de tensión 24 V DC
- 8 entradas digitales
- 4 salidas digitales (Festo, 2018)

2.8.3. Objetivos didácticos para el trabajo de proyecto

- Ajuste mecánico de una estación
- Selección y aplicación de varios actuadores eléctricos
- Instalación de tubos para componentes neumáticos
- Correcto cableado de componentes eléctricos (Festo, 2018)



Figura 13 Est. de clasificación

Fuente: (Festo, 2008)

2.9. Estación de Verificación: Enfocada a sensores

La estación de Verificación detecta las diversas propiedades de las piezas que trata. Distingue las piezas con la ayuda de un sensor óptico y un sensor capacitivo. Un sensor de retro-reflexión supervisa si el espacio operativo está libre después de que la pieza haya sido elevada por un cilindro lineal. Un sensor analógico mide la altura de la pieza. Un cilindro lineal guía las piezas correctas hacia la estación siguiente, a través de la rampa con colchón de aire. Las piezas defectuosas son rechazadas por la rampa de aire inferior. (Festo, 2018)

La estación de Verificación utiliza todos los tipos básicos de sensores industriales en aplicaciones típicas: sensores de proximidad ópticos y capacitivos y sensores ópticos de retro-reflexión como se identifica en la Figura 14. Estos son suplementados con diversos finales de carrera de cilindros (inductivos, magnéticos). (Festo, 2018)

2.9.1. Datos técnicos

- Presión de funcionamiento 600 kPa (6 bar)
- Alimentación de tensión 24 V DC
- 8 entradas digitales
- 5 salidas digitales (Festo, 2018)

2.9.2. Objetivos didácticos para el trabajo de proyecto

- Modo de funcionamiento y áreas de aplicación de sensores capacitivos y ópticos, con comportamiento de conmutación digital.

- Modo de funcionamiento y áreas de aplicación de sensores analógicos, utilizando el ejemplo de un sensor analógico de desplazamiento. (Festo, 2018)

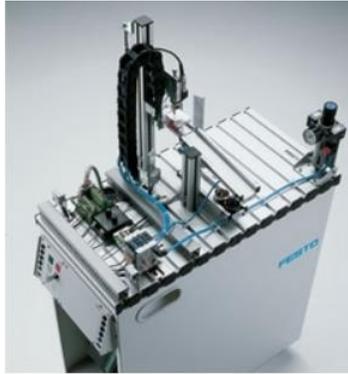


Figura 14 Estación de verificación

Fuente: (Festo, 2018)

2.10. TIA Portal

El TIA Portal es un software completo que ayuda y da solución a problemas de automatización mediante la optimización de procesos de ingeniería y digitalización de una manera eficaz y gestionable, debido a que integra diferentes software básicos (STEP 7, WinCC, SINAMICS Startdrive, SIMOCODE ES y SIMOTION SCOUT TIA) funcionalidades, de multiusuario y además de la administración de energías, entre los aspectos destacados de TIA Portal. (Siemens, 2017)

2.10.1. Step 7

STEP 7 considerado como una herramienta de ingeniería porque permite realizar configuraciones y programaciones de controladores SIMATIC, y busca resolver las tareas de manera intuitiva y eficiente ofreciendo un alto rendimiento. (Siemens, 2017)

Aplicaciones:

- La ingeniería de controladores con STEP 7 Professional.
- Programación PLC: Configuración y programación de PLC SIMATIC S7-1200, S7-1500, S7-300, S7-400.
- Configuración de los dispositivos, así como las redes para todos los componentes de automatización
- Diagnóstico y online para todo el proyecto
- Movimiento y tecnología para las funciones integradas de movimiento y PID

2.10.2. WinCC

Siemens WinCC es un paquete contemplado en el TIA Portal y por ende considerado como uno de los más potentes disponibles en la actualidad con el fin de obtener mejor rendimiento de fabricación. Con aplicaciones de usuario único o sistemas grandes aproximadamente cuatro servidores, que pueden llegar a ser redundantes y más de 100 PLC diferentes.

SIMATIC WinCC (TIA Portal), se utiliza para configurar los dispositivos del operador SIMATIC, en donde se comprende tareas de visualización cercanas a la máquina, así como aplicaciones SCADA. También se considera como escalable y abierto para la máxima transparencia y así también la productividad de la planta y verificando el funcionamiento del sistema mediante la visualización de procesos, y el alto rendimiento para monitorear procesos automatizados. Considerando que no importa si el sistema es para un solo usuario o en un sistema multiusuario distribuido con servidores redundantes, el sistema ofrece una funcionalidad completa para todas las industrias y presenta una apertura óptima. (Siemens, 2017)

2.11. Android Studio

Según la página web (Developers, 2018) Android Studio es un entorno de desarrollo integrado (IDE) que permite realizar el desarrollo de aplicaciones que poseen el sistema operativo llamado Android el mismo que está basado en IntelliJ IDEA . (Developers, 2018). Android Studio permite varias funciones con el fin de aumentar la productividad al momento de efectuar la compilación de aplicaciones, como las siguientes:

- Posee diferentes funcionalidades como el Instant Run que sirve para ir guardando los cambios realizados en la aplicación móvil y de esta manera ejecutar sin la necesidad de compilar
- Utiliza una integración de plantillas de código y GitHub
- Previsualización de los cambios efectuados en la aplicación

El entorno del programa es distribuido de forma que el usuario pueda ubicarse y visualizarlos de mejor manera, como se puede observar en la Figura 15.

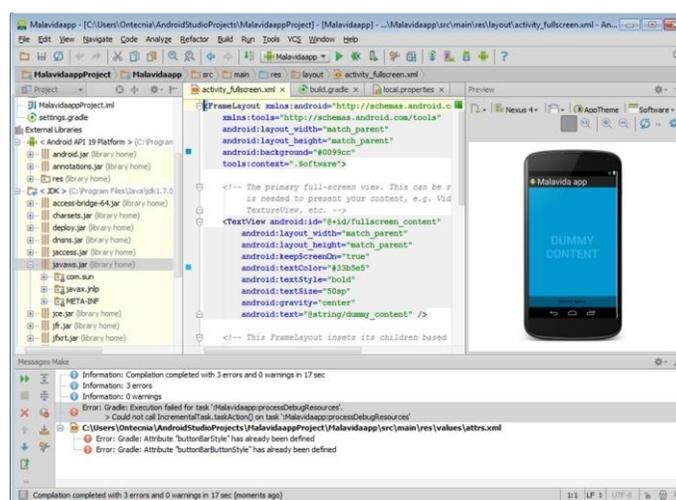


Figura 15 IDE de Android Studio.

Fuente: (Revelo, 2017)

2.11.1. Snap 7

Snap7 es una librería o también considerado como un paquete de comunicación multiplataforma Ethernet y además que es de código abierto que puede trabajar en plataformas de 32/64 bits, de esta manera generando interacción con los PLC Siemens.

De esta manera se puede superar las limitaciones que dan los servidores OPC al transferir vastas cantidades de datos de alta velocidad, además posee adaptación a diferentes plataformas o tarjetas controladoras como son Raspberry PI, BeagleBone Black, pcDuino, CubieBoard, UDOO y ARDUINO YUN (Snap7, 2015).

Hay que tomar en cuenta que este paquete posee diferentes componentes como Cliente, Servidor y Socio, los cuales permiten generar una cadena de automatización de PLC con computadores que se encuentren en red, y posee dos puertos especializados: Settimino y Moka7 que ayudan a efectuar la comunicación entre un dispositivo Arduino o Android con el PLC. Snap7 se distribuye como una biblioteca compartida binaria con código fuente completo bajo GNU Library o Lesser General Public License versión 3.0 (LGPLv3)

Snap 7 es un servidor que permite la comunicación entre los DBS del PLC y un dispositivo de monitoreo ya sea de forma inalámbrica u otro tipo de comunicación, como se puede observar en la Figura 16.

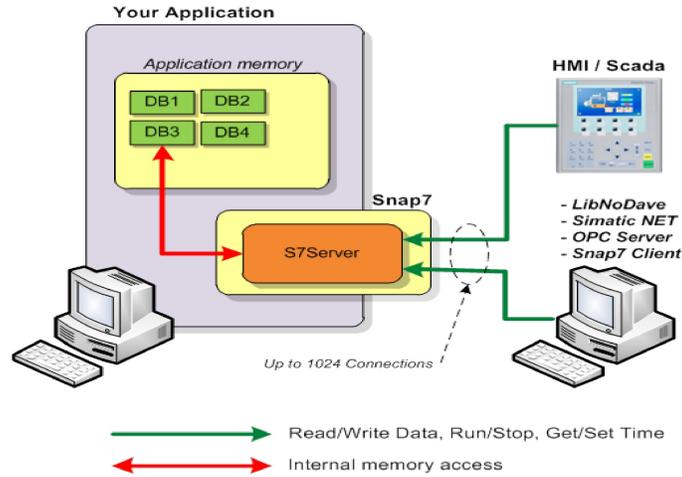


Figura 16 Comunicación del servidor Snap 7

Fuente: (Snap7 server, 2018)

2.11.2. Moka7

Moka7 es un conjunto de clases de código fuente que se utilizan para comunicarse con los PLC S7. Moka7 es parte de Snap7, el cual es un código abierto de comunicación ethernet de Step7. (Nardella, 2014)

El paquete Moka7 contiene muchas clases de estructura, como, por ejemplo

- IntByRef.java (clase de utilidad para pasar un entero por referencia)
- S7BlockInfo.java
- S7CplInfo.java
- S7CpuInfo.java
- S7OrderCode.java
- S7Protection.java
- S7Szl.java

a. Métodos principales de Moka7

Estos métodos permiten controlar el comportamiento de un Client Object. Todos los métodos son importantes ya que permiten establecer comunicación con el PLC y poseen diferentes propósitos como se especifica en la Tabla 2.

Tabla 2
Funciones Moka7

Funciones	Propósito
“ ConnectTo ”	Conecta un objeto Cliente a un PLC utilizando su IP, Rack y Slot
“ SetConnectionType ”	Establece el tipo de conexión (PG/OP/S7BASIC)
“ Connect ”	Conecta un objeto Cliente a un PLC sin ningún parámetro de por medio
“ Disconnect ”	Desconecta el Objeto Cliente

Fuente: (Nardella, 2014)

Las funciones ConnectTo tienen varios parámetros a configurar, entre los principales se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3
Funciones ConnectTo

	Type	Dir.	
ConnectTo	Address	String	In PLC/Equipment IPV4 Address ex. “192.168.1.12”
	Rack	int	In PLC Rack number (see below)
	Slot	int	In PLC Slot number (see below)

Fuente: (Nardella, 2014)

b. Funciones de datos de entrada y salida de Moka7

La diferencia de que se requiera que se lea o escriba los datos está en las funciones “readArea” y “WriteArea”, poseen los mismos parámetros a configurar pero su

funcionalidad es distinta ya que la una accede a los datos y la otra controla los datos mediante la escritura de ellos y como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4

Funciones "readArea" y "WriteArea"

Funciones	Propósito
"ReadArea"	Lee datos desde el PLC Con este DB, Inputs, Outputs, Merkers, Timers and Counters.
"WriteArea"	Escribe un área de datos del PLC. Es la función complementaria de ReadArea (), los parámetros y sus significados son los mismos.
"ReadMultiVars"	Lee diferentes tipos de variables dentro del PLC simultáneamente
"WriteMultiVars"	Escribe diferentes tipos de variables dentro del PLC simultáneamente

Fuente: (Nardella, 2014)

En Las funciones ReadArea y WriteArea se deben establecer varias configuraciones dependiendo del PLC que se va a manejar, el tipo de dato como por ejemplo el DB que se va a monitorear y el número de bytes que se van a enviar como permite identificar la Tabla 5.

Tabla 5

Tipos de datos.

	Type	Dir.	Mean
Area	int	In	Area identifier.
DBNumber	int	In	DB Number if Area = S7AreaDB, otherwise is ignored.
ReadArea y WriteArea			
Start	int	In	Offset to start
Amount	int	In	Amount of elements to read (1)
Wordlen	int	In	Word size (2)
Buffer	Byte Buffer	In	Buffer
BytesRead	int	Out	Number of bytes read (3)

Fuente: (Nardella, 2014)

2.12. Diagramas UML

El lenguaje unificado de modelado es un conjunto de diagramas o esquemas que permiten representar visualmente diferentes aspectos de un sistema de software o de una aplicación bajo desarrollo, este lenguaje puede ser entendido por diferentes tipos de usuarios y programadores. (Alava, 2015)

Diagrama de Casos de Uso: sirve para detallar la relación que existe entre las funcionalidades de un sistema, que son los casos de uso y el usuario de este que se denomina actor.

Diagrama de secuencia: es un diagrama de interacción que permite detallar la relación existente dinámica que existe entre los objetos con respecto al tiempo o a las acciones.

2.13. Proyectos relacionados

Tema: Sensor data analysis for equipment monitoring (Bentes, Heitor, Zadrozny, & Garcia, 2016)

Autor(es): Ana Cristina B. Garcia, Cristiana Bentes, Rafael Heitor C. de Melo
Bianca Zadrozny · Thadeu J. P.

Universidad: Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Año: 2010

Tema: Energy-Efficient Area Monitoring for Sensor Networks (Ryl & Carle, 2004)

Autor(es): Jean Carle - David Simplot-Ryl

Universidad: University of Lille

Año: 2004

Tema: Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos.

Autor(es): Sergio Iván Ossa Duque

Universidad: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Año: 2014

Tema: Realidad aumentada, como apoyo al proceso de enseñanza-aprendizaje, en el área de ciencias naturales de los octavos años de educación básica superior, de la unidad educativa liceo policial, del distrito metropolitano de Quito

Autor(es): Aguilar Herrera Carmen María

Universidad: Universidad Central del Ecuador

Año: 2016

Tema: Tecnología de realidad aumentada en el inter-aprendizaje

Autor(es): Víctor Chicaiza Vinuesa, Luis Guanoluisa Paredes

Universidad: Universidad Estatal de Milagro

Año: 2011

CAPÍTULO III

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

El objetivo principal de este capítulo es detallar minuciosamente las características del proyecto a desarrollar, así como también considerar los criterios necesarios para la selección de los componentes que formen parte de un sistema ciber-físico con realidad aumentada.

Primeramente, se debe optar por establecer los parámetros necesarios para el diseño, luego se procede a seleccionar componentes que se caractericen por obtener buenas prestaciones y un adecuado funcionamiento del sistema, posteriormente se diseña la esquematización la estructura de comunicación de los dispositivos y la visualización de la ubicación de sus componentes mecánicos, electrónicos y su sistema de control.

3.1. Parámetros de diseño generales

Los parámetros generales de diseño son muy importantes, tanto para la selección de los componentes como para la morfología del sistema mecatrónico, ya que se los puede considerar como la base para el diseño de todo el sistema, es decir que se parte desde estos parámetros y conforme se vaya desarrollando la investigación modificarlos y adaptarlos de tal forma que el sistema cumpla su función de manera precisa y óptima.

El objetivo más importante al que está enfocada la investigación es la implementación de un sistema que pueda realizar el monitoreo como también generar un despliegue de

información que sea en relación de la estación de trabajo compacta MPS mediante la creación de una app para dispositivos con sistema operativo Android.

Por tanto, como parámetros y funcionalidades de este diseño se tiene las siguientes:

- Mantenimiento preventivo y correctivo de ser necesario parte mecánica, electrónica y software de la estación de trabajo compacto MPS.

Para implementar el adecuado mantenimiento fue necesario el uso de los datasheets para cada uno de los sistemas que componen la máquina como tal con el fin de dejarla en perfecto funcionamiento.

- El sistema debe permitir monitorear de manera real los sensores presentes en la estación tanto analógicos como digitales, y controlar los actuadores presentes.

3.2. Diagrama de conexión

En la Figura 17, se muestra el esquema del diagrama de conexión de los componentes que forman parte sistema ciber-físico con realidad aumentada. En este esquema se puede apreciar que se tiene un router permite que el PLC esté conectado a una red wifi y mediante esta se conecte a dispositivos remotos. El PLC es el encargado de recibir las señales de todos los sensores como el de presión, flujo, temperatura y nivel y permite controlarlos mediante la acción de actuadores como bombas y actuadores.



Figura 17 Diagrama de conexión

3.3. Diagrama del sistema Ciber-físico con realidad aumentada.

El sistema ciber-físico se encarga de combinar el mundo físico y el mundo digital, esto se realiza mediante la interacción que se llega a obtener mediante el uso de realidad aumentada para el desarrollo de guías de laboratorio para un adecuado funcionamiento de la estación y como se puede apreciar en la Figura 18 Diagrama del Sistema. Este sistema se desarrolla en una aplicación para dispositivos Android, el cual se puede conectar de forma remota.

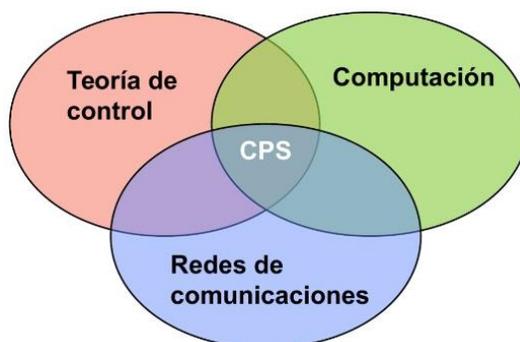


Figura 18 Diagrama del Sistema

3.4. Selección de componentes

En esta parte de la investigación es necesario comparar varias alternativas que puedan optimizar el funcionamiento de todo el sistema mecatrónico, luego en base a distintos criterios, ya sean mecánicos, eléctricos, etc., se seleccionan los componentes más adecuados para formar parte de este.

3.4.1. Método cualitativo por puntos.

Al momento de realizar la selección de los componentes se optó por el uso del método cualitativo por puntos, el que consiste en efectuar la asignación de factores cuantitativos a diferentes series de factores que sean relevantes e imprescindibles para la selección. Obteniendo de esta manera una comparación cuantitativa de componentes tomados en cuenta para el adecuado desarrollo del proyecto, teniendo en cuenta la ponderación de los factores de acuerdo con los criterios del investigador (Baca Urbina, 2010)

En la siguiente tabla se observa un ejemplo detallado de la adecuada forma de utilizar el método cualitativo por puntos.

Tabla 6

Tabla usada para el método cualitativo por puntos

Factor relevante	Peso asignado (%)	Alternativa 1		Alternativa 2	
		Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada
Factor 1	33%	2.5	0.825	2	0.66
Factor 2	25%	3.5	0.875	3.75	0.9375
Factor 3	20%	2.75	0.55	3.5	0.7
Factor 4	7%	4	0.28	2.5	0.175
Factor 5	15%	4	0.6	4.5	0.675
Suma	100%		3.13		3.1475

Fuente: (Baca Urbina, 2010)

Según Baca Urbina (2010) hay que aplicar un procedimiento para jerarquizar factores cualitativos de los componentes correspondientes al desarrollo de un proyecto para lo cual se debe tener en cuenta ciertas características como se puede mostrar a continuación:

- En primer lugar, se realiza un listado de factores.
- Luego hay que realizar la asignación de un peso a los factores de importancia en porcentaje y que al final la suma de los mismo sea el 100%, hay que tomar en cuenta que el peso asignado dependerá del investigador.
- También hay que asignar una escala como por ejemplo la más utilizada es desde el 1 hasta el 5 donde se verificar el máximo y mínimo valor de calificación.
- Hay que tomar en cuenta que para realizar la calificación a cada una de las características de las opciones a evaluar hay que tomar en cuenta la escala designada y a su vez realizar la multiplicación de la calificación por el peso.
- Al final se realiza una suma de las puntuaciones obtenidas para de esta manera verificar la máxima puntuación.

Una de las ventajas al momento de utilizar este método es la sencillez y rapidez, pero en cambio la desventaja que presenta el mismo es que el peso asignado y la calificación a considerar a cada factor relevante, es netamente de acuerdo con el criterio del investigador (Baca Urbina, 2010).

3.5. Alternativas y selección de router

Para la selección del router para la conexión de los dispositivos involucrados en el sistema ciber-físico con realidad aumentada se tomaron en cuenta las siguientes variables:

- Hardware.
- Conexiones y puertos
- Antenas, WiFi y QoS
- Software e interfaz de usuario
- Instalación
- Precio
- Velocidad

Como se puede apreciar en la Tabla 7 están presentes las alternativas para selección de router de las cuales nos permitirá escoger la opción más idónea posteriormente.

Tabla 7

Alternativas para selección de router

Software	Características
TP-Link Archer C1200	<ul style="list-style-type: none"> • Básico, hasta 4 usuarios simultáneos • WiFi AC 300 Mbps en 2,4 GHz y otros 867 Mbps en 5 GHz sumando 1.200 Mbps • 4 puertos LAN a 1 Gbps y otro WAN a 1 Gbps • Puerto USB 2.0, tres antenas orientables, servidor FTP • 80 dólares.
	<ul style="list-style-type: none"> • Básico-medio, hasta 4 o 5 usuarios simultáneos

CONTINÚA 

FRITZ!Box 4040	<ul style="list-style-type: none"> • WiFi AC 400 Mbps en 2,4 GHz y 866 Mbps en 5 GHz • 4 puertos LAN a 1 Gbps y otro WAN a 1 Gbps • Puerto USB 3.0 y 2.0, FRITZ!OS de AVM, antenas no orientables en el interior • 100 dólares
Huawei CNT 2017	<ul style="list-style-type: none"> • Básico-medio, hasta 10 usuarios simultáneos • WiFi AC 300 Mbps en 2,4 GHz . • 4 puertos LAN a 1 Gbps y otro WAN a 1 Gbps • Puerto USB 3.0, antenas no orientables en el interior • 10-20 dólares

Fuente: (Campos, 2018) (Rodríguez, 2018)

Una vez conocidas las alternativas, se procede a evaluar cada una para la selección del router apropiado, como se observa Tabla 8

Tabla 8
Selección del router

Criterios	Peso	Alternativas					
		A TP-Link Archer C1200		B FRITZ!Box 4040		C Huawei CNT 2017	
		Eva	%	Eva	%	Eva	%
Hardware.	15%	3	0,45	3	0,75	5	0,75
Conexiones y puertos	20%	4	0,80	4	0,80	4	0,80
Antenas, WiFi y QoS	20%	4	0,80	3	0,80	3	0,60
Software e interfaz de usuario	10%	4	0,40	4	0,40	5	0,50
Instalación	10%	3	0,30	4	0,40	4	0,40
Precio	15%	2	0,30	2	0,30	5	0,75
Velocidad	10%	5	0,50	5	0,50	4	0,4
Total	100%		3,55		3,95		4.2
Lugar			2		3		1
Seleccionar			NO		NO		SI

Con los resultados de la Tabla 8, se procede a escoger el router Huawei CNT 2017 debido a que es el más económico y tiene similares prestaciones que los otros routers.

3.6. Alternativas y selección de software para comunicación con PLC

Para la selección del software para la comunicación con el PLC, se evaluará según los siguientes criterios

- Compatibilidad
- Optimización aplicación
- Depuración aplicación
- Facilidad de uso
- Previsualización interfaz
- Extensión
- Lenguaje de programación

Las alternativas, así como las características para la comunicación con el PLC se muestran a continuación:

3.6.1 Características de Android Studio

- Tiene herramientas para detectar problemas de rendimiento, usabilidad y compatibilidad de versiones.
- Utiliza ProGuard para optimizar y reducir el código del proyecto al exportar a APK.
- Integración de la herramienta Gradle encargada de las tareas de testing, compilación o empaquetado, esta herramienta permite identificar errores.
- Su interfaz es una estructura simple y organizada para los proyectos. y tiene un entorno de desarrollo más robusto, pero más fácil e intuitivo.

- Contiene un editor de diseño que muestra una vista previa de las modificaciones en la aplicación.
- Es posible una previsualización en diferentes resoluciones de pantalla (desde 2,3 pulgadas hasta tabletas de 7 o 10 pulgadas) en tiempo real.
- El lenguaje de programación de Android Studio es Java y utiliza un conjunto de herramientas de desarrollo SDK (SoftwareDevelopment Kit).
- Fue lanzada de forma gratuita a través de la Licencia Apache 2.0. (Academia-Android, 2016)

3.6.2 Eclipse

- Eclipse provee al programador con Frameworks que son útiles para el desarrollo de aplicaciones gráficas, definición y manipulación de modelos de Software, Aplicaciones web, etc.
- Incluye un depurador, de uso fácil e intuitivo que visualmente ayuda a mejorar el código. El SDK de Eclipse incluye las herramientas de desarrollo de Java, ofreciendo un IDE con un compilador de Java interno y un modelo completo de los archivos fuente de Java.
- El entorno de desarrollo integrado (IDE) de Eclipse emplea módulos (en inglés plug-in) para proporcionar toda su funcionalidad al frente de la Plataforma de Cliente rico, a diferencia de otros entornos monolíticos donde las funcionalidades están todas incluidas, las necesite el usuario o no.
- Este mecanismo de módulos es una plataforma ligera para componentes de software. Adicionalmente a permitirle a Eclipse extenderse usando otros lenguajes

de programación como son C/C++ y Python, permite a Eclipse trabajar con lenguajes para procesado de texto como LaTeX, aplicaciones en red como Telnet y Sistema de gestión de base de datos. (calendamaia, s.f.)

- Su principal inconveniente, es el excesivo consumo de recursos del sistema. (Ecured, 2017)

3.6.3 App Inventor

- El compilador que traduce el lenguaje visual de los bloques para la aplicación en Android utiliza Kawa como lenguaje de programación, distribuido como parte del sistema operativo GNU de la Free Software Foundation
- Es completamente gratuito, solamente hay que descargar App Inventor en la web y empezar a crear apps.
- Fácil de utilizar, ideal para principiantes en programación que buscan sacarle mejor provecho a su terminal (teléfono inteligente).
- Las aplicaciones creadas se ejecutan en los dispositivos móviles con sistema operativo Android.
- Las aplicaciones que se pueden crear aquí son bastante simples y no cumple las exigencias de los más capacitados en programación.
- De las aplicaciones creadas las empaqueta y obtiene un apk de demasiado grande en comparación con otros.
- No genera código Java para posteriores desarrollos más profundos. (AppMoviles, 2016)

Una vez conocidas las alternativas, se procede a evaluar cada una para la selección del software apropiado, como se observa en la Tabla 9

Tabla 9
Selección de software para comunicación con el PLC.

Criterios	Alternativas						
	Peso	A Android Studio		B Eclipse		C App Inventor	
		Eva	%	Eva	%	Eva	%
Compatibilidad	10%	3	0,30	2	0,20	4	0,40
Optimización aplicación	15%	4	0,60	4	0,60	2	0,30
Depuración aplicación	15%	4	0,60	4	0,60	1	0,15
Facilidad de uso	10%	3	0,30	1	0,10	4	0,40
Previsualización interfaz	10%	3	0,30	4	0,40	4	0,40
Lenguaje de programación	15%	5	0,75	5	0,75	2	0,30
Inserción de complementos	25%	5	1,25	3	0,75	1	0,25
Total	100%		4,1		3,4		2,2
Lugar			1		2		3
Seleccionar			SI		NO		NO

La alternativa con mayor puntaje fue seleccionada, es decir el software Android Studio por sus diversas ventajas en comparación con los otros softwares como son su facilidad de uso, su depuración de código, su compatibilidad con diversas plataformas y más que todo permite la inserción de complementos para la comunicación con PLC, una de ellas es la denominada Snap7. Es por esto por lo que el software apropiado es Android Studio.

3.7. Alternativas y selección de software de motor de video juegos

Para la selección del Motor de Videojuegos para la realización de la interfaz de la aplicación móvil a desarrollar la cual deberá contar con las escenas necesarias

programación, elementos CAD, velocidad, peso y multiplataforma. Se tomaron en cuenta las siguientes variables:

- Compatibilidad
- Optimización aplicación
- Depuración aplicación
- Facilidad de uso.
- Previsualización.
- Extensión
- Lenguaje de programación

Las alternativas del Motor de Videojuegos se pueden apreciar en la Tabla 10, con respecto a las opciones analizadas dentro del marco teórico 132.4, por ende, se procede a evaluar cada una para la selección de la opción más idónea.

Tabla 10
Selección de software de motor de video juegos

Alternativas										
Criterios	Peso	A GODOT			B Unreal Engine 4		C AppGameKit		D Unity	
		Eva	%	Eva	%	Eva	%	Eva	%	
Compatibilidad	10%	3	0,30	4	0,40	3	0,40	4	0,40	
Incorporación de diseños CAD	15%	4	0,60	4	0,60	3	0,45	4	0,60	
Herramientas de animación	10%	3	0,30	5	0,50	3	0,30	5	0,50	
Multiplataforma	15%	3	0,45	4	0,45	4	0,60	5	0,75	
Realidad Aumentada	20%	4	0,80	3	0,60	3	0,60	4	0,80	
Lenguaje de programación	10%	3	0,30	5	0,50	3	0,30	5	0,50	

CONTINÚA



Precio	20%	5	1,00	2	0,40	3	0,60	5	1,00
Total	100%		3,75		3,45		3,25		4,55
Lugar			2		3		4		1
Seleccionar			NO		NO		NO		SI

Con los resultados de la Tabla 10, se procede a escoger el software de Unity debido a que cumple con las expectativas necesarias por parte del desarrollo de la aplicación, interacción con el desarrollador, de igual manera presenta prestaciones y una amplia gama de comunidad que puede ayudar al desarrollo del proyecto.

3.8. Alternativas y selección de software para desarrollo de realidad aumentada

Para la selección del software para desarrollo de la interfaz de la aplicación y la realidad aumentada se tomaron en cuenta las siguientes variables:

- Interfaz gráfica
- Reconocimiento de objetos (R. de objetos)
- Coste computacional (C. computacional)
- Programación
- Instalación
- Licencia
- Multiplataforma

Las alternativas del software para generar la realidad aumentada y las respectivas características de cada uno de ellos se detallan en la Tabla 11:

Tabla 11
Alternativas de software de Realidad Aumentada

Software	Características
ArtoolKit	<ul style="list-style-type: none"> • Permite desarrollar aplicaciones de RA en tiempo real, mediante la inserción de un dispositivo fotográfico. • Utiliza rectángulos, cuadrados negros o códigos QR llamados marcadores • Permite la posibilidad de usar distintos patrones en los marcadores • Compatibilidad con distintas plataformas
Pygame + OpenCV	<ul style="list-style-type: none"> • Permite procesar imágenes de video en tiempo real y utilizar sus características como datos o marcadores para el desarrollo de juegos. • Utiliza objetos como marcadores y tiene una alta capacidad de reconocimiento de objetos • Soporte solo para 2D, para integrar elementos en 3D requiere de herramientas adicionales como OpenGL, ARUCO. • Compatibles con sistemas Unix y Windows • Bajo costo computacional • Fácil instalación • Es de licencia libre
Unity3D + Vuforia	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz de fácil uso • Múltiples plataformas móviles y PC • Permite realizar juegos y aplicaciones con elementos virtuales en 3D • Lenguaje de programación Javascript y C# • Gracias a la fácil interfaz se reduce el tiempo de desarrollo de los juegos • Alto costo computacional • No es de licencia libre • Para poder utilizar la cámara, se debe utilizar la versión de pago.

Fuente: (Alfa, 2017)

Una vez conocidas las alternativas, se procede a evaluar cada una para la selección del software apropiado, la ponderación máxima que se puede obtener es de cinco y la mínima es la del valor de uno, como se observa en la Tabla 12

Tabla 12
Selección de software de Realidad Aumentada

Alternativas							
Criterios	Peso	A Pygame+OpenCV		B Unity3D+Vuforia		C ArtoolKit	
		Eva	%	Eva	%	Eva	%
Interfaz grafica	15%	3	0,45	4	0,60	5	0,75
R. de objetos	20%	4	0,80	5	1,00	3	0,60
C.Computacional	20%	4	0,80	4	0,80	2	0,40
Programación	10%	3	0,30	3	0,30	4	0,40
Instalación	10%	3	0,30	4	0,40	4	0,40
Licencia	15%	5	0,75	5	0,75	2	0,30
Multiplataforma	10%	5	0,50	5	0,5	3	0,30
Total	100%		2,3		4,35		3,15
Lugar			3		1		2
Seleccionar			NO		SI		NO

Con los resultados de la Tabla 12, se procede a escoger el software Unity 3D+ Vuforia porque cumple de mejor manera los criterios establecidos para la realización de la interfaz de la aplicación y desarrollo de la realidad aumentada

3.9 Selección de software de modelado de objetos 3D.

Para la selección del Motor del software de modelado, animación de objetos 3D se usan las opciones que se revisó en 2.5 para la realización de los componentes que forman parte de la estación de trabajo compacto MPS e integrar con el motor de videojuegos con animación y cuya información ayudo generar la Tabla 13 considerando también las siguientes variables:

- Optimización de diseño

- Interfaz amigable con el usuario.
- Escultura, texturizado
- Modelado sencillo y potente.
- Interoperabilidad flexible
- Licencia gratuita
- Permite importar imágenes en bruto.

Tabla 13

Selección de software de modelado de objetos 3D.

Alternativas							
Criterios	Peso	A MODO		B Autodesk 3DS Max		C Blender	
		Eva	%	Eva	%	Eva	%
Optimización de diseño	15%	3	0,45	2	0,30	5	0,75
Interfaz amigable con el usuario	15%	3	0,45	4	0,60	4	0,60
Escultura, texturizado	10%	2	0,20	4	0,40	3	0,30
Modelado sencillo y potente	15%	3	0,45	2	0,30	5	0,75
Interoperabilidad flexible	10%	2	0,20	4	0,40	3	0,30
Permite importar imágenes en bruto	10%	2	0,20	3	0,30	4	0,40
Licencia gratuita	25%	1	0,25	2	0,50	5	1,25
Total	100 %		2,2		2,8		4,35
Lugar			3		2		1
Seleccionar			NO		NO		SI

Con los resultados de la Tabla 13, se procede a escoger el software Blender debido a que cumple con las expectativas necesarias para el diseño de cada uno de los componentes requeridos de acuerdo con los actuadores necesarios de la estación de trabajo compacto MPS.

A continuación, se muestra en la Figura 19, el diagrama de los elementos seleccionados mediante el método cualitativo por puntos.

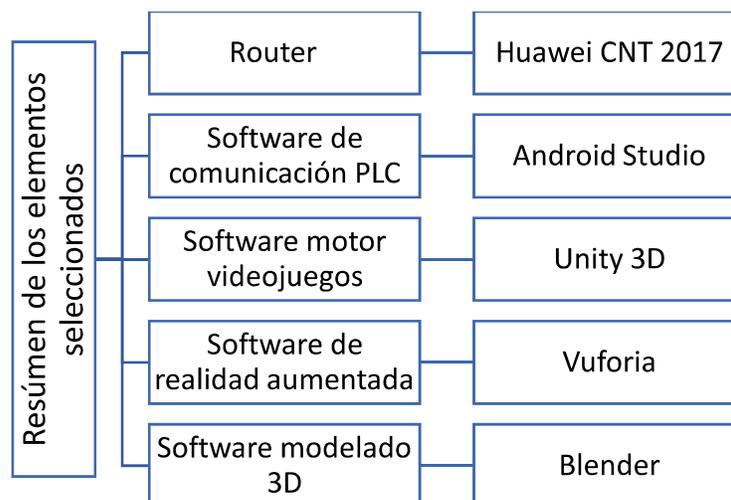


Figura 19 Elementos Seleccionados

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

En este capítulo se detalla el proceso necesario para poder realizar la adecuada implementación del sistema ciber-físico en base a las tecnologías de la selección de componentes y software realizado en el capítulo anterior, y de esta manera poder cumplir con los objetivos planteados.

4.1. Mantenimiento de la Estación de trabajo compacto MPS.

En primer lugar, fue necesario realizar un mantenimiento a los sistemas que forman parte de la estación de trabajo compacto MPS como, por ejemplo:

- Componentes mecánicos: Los elementos que conforman la estructura de la estación como se puede observar en la Figura 20, para la manipulación de cada uno de los componentes, así como la contaminación que se llega a generar debido a la descomposición del agua y la generación de bacterias.
- Componentes eléctricos: Consiste en la revisión del cableado y conexiones del sistema completo que compone la estación y de los módulos que componen la estación por completo como son: módulos analógicos, terminales de entrada/salida, convertidores de medición.
- Componentes electrónicos y de control: dando así una verificación de la comunicación entre el controlador y el software de programación.



Figura 20 Componentes de estación ETC
Fuente: (Autodesk, 2019)

4.1.1. Mantenimiento Mecánico.

En primer lugar, se realiza el reconocimiento de todos los componentes que forman parte de la estación, como son: la mesa de trabajo, placa de perfil, soportes, las tuberías, uniones, codos, sujetadores, válvulas, tanques, sensores, actuadores. En primera instancia fue necesario verificar las sujeciones existentes entre la mesa de trabajo, la placa de perfil y los soportes de los tanques y la placa de montaje de los módulos que forman parte principal de los aditamentos principales de la estación como tal, luego se procedió a realizar la limpieza de cada uno de los tanques y consecuentemente a verificar la sujeción de los mismos en cada uno de los soportes proporcionando seguridad al momento de colocar el agua, también fue necesario realizar en primera instancia la limpieza de toda la tubería del sistema ya sea entre los tanques y las divisiones de retroalimentación que posee debido al agua contaminada no presentaba buena visualización así como taponamiento con respecto al flujo de la bomba por las obstrucciones de algas presentes en el sensor de flujo, al momento de realizar el ensamble completo de las tuberías fue necesario realizar la verificación de que no exista

fugas de agua lo que implico realizar el ajuste de cada uno de los acoples y componentes de la tubería y sobre todo lo más importante de la bomba, posteriormente se procedió a identificar y verificar la sujeción de cada uno de los sensores y actuadores en los sitios predefinidos por el fabricante , para que de la misma manera que en la tubería no exista fugas y tengan un adecuado funcionamiento a lo largo de las prácticas a realizar por parte del estudiante, por último se procedió a realizar una implementación estética del cableado presente en la estación acorde a cada uno de los componentes.

4.1.2. Mantenimiento eléctrico y electrónico.

En esencia el cableado de cada uno de los sensores y actuadores se encontraba de manera irregular por lo cual fue necesario realizar una verificación de funcionamiento de los sensores y actuadores mediante el uso de una fuente de 24v y un multímetro, para luego dar paso a la corrección de todas las conexiones entre los módulos que forman parte de la estación con la ayuda de los diagramas eléctricos y electrónicos para lo cual se inició con la conexión entre cada uno de los sensores y actuadores digitales (calentador, flotadores, nivel bajo y alto del tanque 101,válvula de bola) ,el módulo K1 , K106, al módulo XMA1 ,luego se procede a realizar la conexión de los sensores analógicos (nivel, caudal, temperatura) a los módulos analógicos A1,A2,A3, respectivamente , mientras que el de presión solo a alimentación y al módulo de señales analógicas X2, también para la parte analógica de la bomba se procede a conectar el A4 con el K1 y el M106 al K106 que corresponde a la parte analógica de la calcula proporcional y módulos XMA1 y el X2 al controlador del Festo SPS y a su vez al XMG2(panel de control).

Para el correcto funcionamiento del sistema fue necesario probar cada uno de los componentes del módulo, ya que cada uno cumple una función específica, como se puede apreciar en la Figura 21.

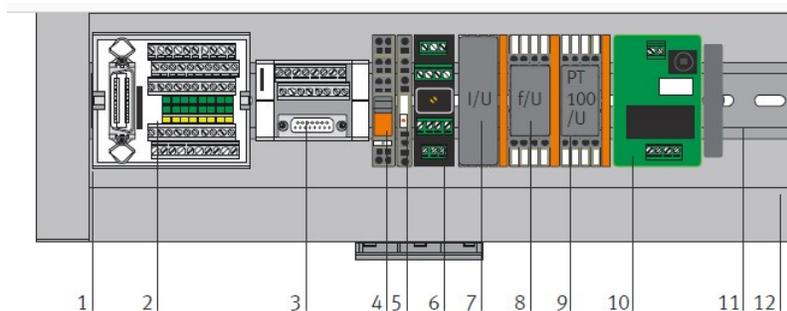


Figura 21 Panel eléctrico
Fuente: (Festo, 2008)

1. Plato de montaje
2. Terminal de I/O (Station Syslink). Conexión de entradas: sensor de proximidad capacitivo y conexión de salidas: boba, válvula proporcional, válvula de bolas de 2 vías
3. terminal analógica (Station Syslink). Conexiones analógicas de válvulas de nivel, sensor de flujo, presión y temperatura y manipula las variables de la bomba y válvula proporcional.
4. Relay K1: Permite realizar el control de la bomba. Si K1 es activo, la bomba puede ser controlada con una manipulación continua de voltaje de 0-10V.
5. Relé de potencia K106: electrónica válvula proporcional fuerte que la energía de activación.
6. Controlador de motor: control binario y analógica de la bomba.

7. Convertidor de medición I / U: señal del sensor de ultrasonido para la medición de nivel se convierte de señal de 4-20 mA de corriente en señal de tensión estándar 0-10 V
8. Convertidor de medición f / U: señal del sensor de velocidad de flujo para la medición del flujo se convierte de una señal de pulso rectángulo de una frecuencia a una señal de voltaje que varíe desde 0 hasta los 10 V.
9. Convertidor de medición PT100 / U: señal del sensor de temperatura para medir la temperatura será convertida a partir de una resistencia en una señal de voltaje estándar 0-10 V
10. Mirando limitador de corriente: limita la corriente máxima de salida del controlador de motor para evitar caídas de tensión en el controlador.

4.1.3. Mantenimiento de comunicación.

Previo para realizar la comunicación y programación respectiva fue necesario la creación de una subred para poder manejar el protocolo TCP/IP en la comunicación entre los dispositivos y el controlador de la estación de trabajo compacto MPS.

a. Creación de una subred y configuración del router.

Primero ejecutar el cmd del computador y digitar el código ipconfig como se muestra en la Figura 22 y tener en cuenta que puerta de enlace tiene.

```

Command Prompt

Media State . . . . . : Media disconnected
Connection-specific DNS Suffix . . . . . :

Wireless LAN adapter Wi-Fi:

Link-local IPv6 Address . . . . . :
IPv4 Address. . . . . :
Subnet Mask . . . . . :
Default Gateway . . . . . : 192.168.1.1

```

Figura 22 IP Puerta de enlace

Luego de determinar la puerta de enlace hay que ingresar a un navegador (Mozilla, Chrome o Opera), dirigirse a la barra de direcciones y digitar la dirección de puerta de enlace como se puede apreciar en Figura 23.

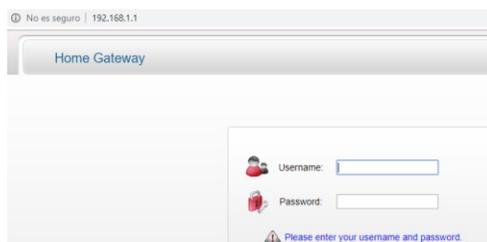


Figura 23 Ingreso a router

Hay que buscar el LAN Host del router que deseemos y colocar la IP seleccionada en este caso nosotros vamos a tener una IP clase B (192.168.102.100) lo que le hace equivalente a una máscara de red de 255.255.255.0 como se aprecia en la Figura 24 , para determinar la cantidad de redes que pueden ser utilizadas se utiliza la ecuación 1

$$2^{N(\text{Bits con } 1)}$$

Ec 1

$$2^{21} = 2097152 \text{ redes}$$

Por ende, también se tendrá 256 direcciones IP, pero solo 254 para dispositivos, que se obtiene de primero realizar una transformación a binario obteniendo como resultado:

11111111.11111111.11111111.00000000

Luego al contar los bits de 1 obtenemos 24, considerando que los unos son de red y los 0 son de host, tomando en cuenta que los 3 primeros se utilizan para identificar la red, pero no cuentan por lo tanto manejaremos $24-3=21$ libres. Mientras que para obtener la cantidad de host vamos a tener que utilizar la ecuación 2:

$$2^{N(\text{Bits con } 0)}$$

Ec 2

$$2^8 = 256 \text{ (IP de red y broadcast)}$$

$\therefore 256 - 2 = 254$ direcciones para los dispositivos.

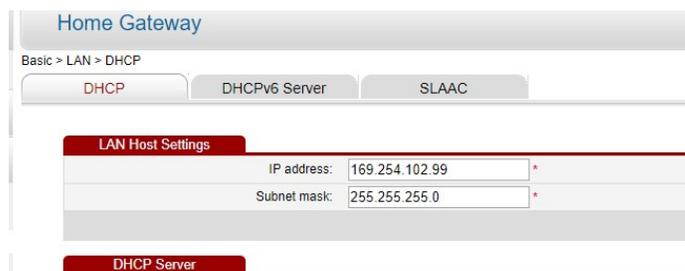


Figura 24 Configuración de LAN Host

b. Programación del proyecto para utilizar en la estación mediante el software Tía Portal

Para empezar con la programación determinada en referencia al manejo de los actuadores o el monitoreo de los sensores de la estación fue necesario identificar las direcciones de entrada y salida del PLC, los espacios de memoria que tenía asignado y esto se logró mediante la utilización del manual de la estación y proyectos relacionados.

Para la creación un proyecto nuevo y dirigirse a Dispositivos y Redes: A continuación, dar clic sobre agregar dispositivos, seleccionar controladores, luego dirigirse a SIMATIC S7-300, elegir CPU 313C y seleccionar la CPU 6ES7 313-5BG04-0AB0; ver la Figura 25.

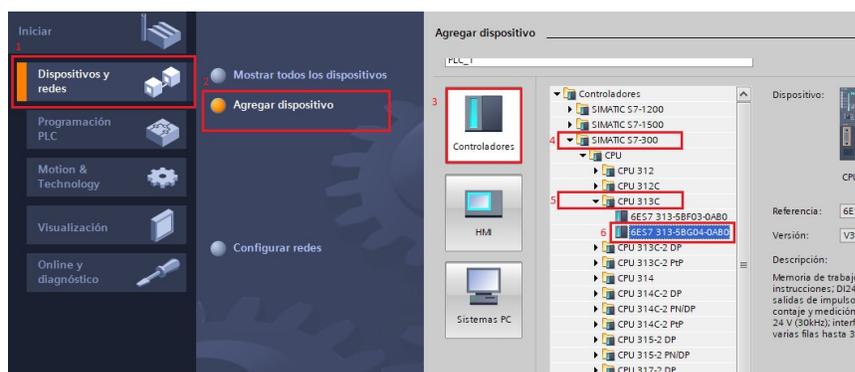


Figura 25 Agregar Dispositivos en TIA Portal

Para agregar el módulo de comunicación Ethernet, ir a la opción de Catálogo, buscar la sección de Módulos de Comunicación en la parte de PROFINET/Ethernet seleccionar el módulo CP 343-1 Lean (6GK7 343-1CX10- 0XE0), correspondiente al módulo existente en el laboratorio y arrastrarlo al slot numero 4 como se puede apreciar en la Figura 26.

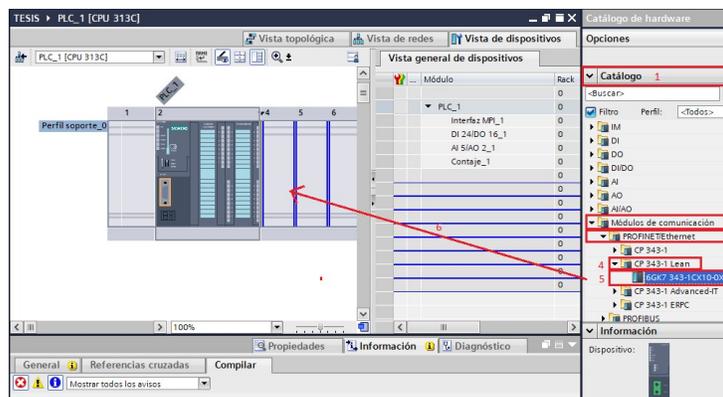


Figura 26 Inserción de los módulos

Es necesario realizar la configuración del módulo de PROFINET/Ethernet, entonces se procede a dar doble clic sobre el módulo agregado en la parte de Interfaz Profinet _1 y en Direcciones Ethernet, ajustar la dirección IP: 169.254.102.100, luego verificar que la

Máscara de Subred tenga la siguiente configuración: 255.255.255.0, como se muestra en la Figura 27.

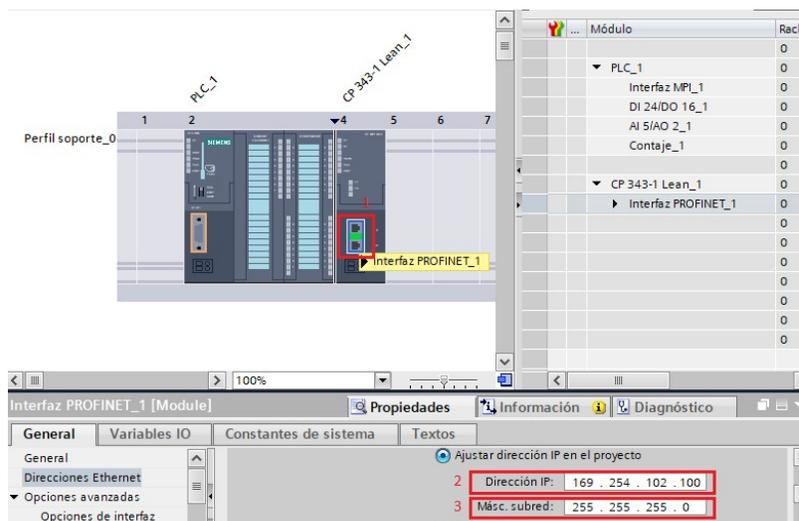


Figura 27 Establecimiento de la dirección IP del PLC

Para realizar la configuración de panel táctil KTP600 PN, es necesario dirigirse al árbol del proyecto ubicado en el lado izquierdo de la ventana del TIA Portal y dar doble clic en la opción agregar dispositivo, tal y como se aprecia en la Figura 28.

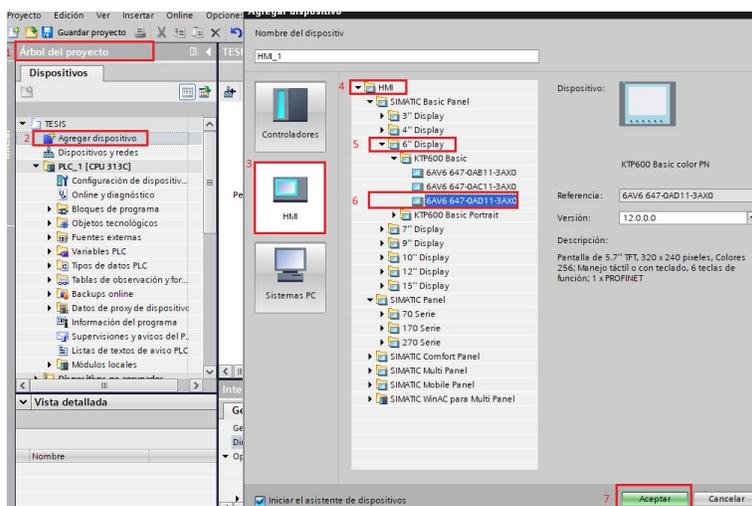


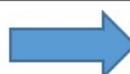
Figura 28 Configuración del KTP 600

Para empezar con la programación, es necesario ingresar las variables para poder controlar la estación de trabajo compact MPS y cada una de sus señales ya sean de entrada o salida como se puede apreciar en la Tabla 14.

Tabla 14
Variables de control para ETC.

Nombre	Tipo de Datos	Dirección Lógica
NIVEL	Int	%IW752
FLUJO	Int	%IW754
PRESION	Int	%IW756
TEMPERATURA	Int	%IW758
START	Bool	%I125.0
STOP	Bool	%I125.1
BOMBA	Bool	%Q124.3
NIVEL_BAJO_T101	Bool	%I124.3
NIVEL_ALTO_T101	Bool	%I124.4
VALVULA_BOLA	Bool	%Q124.0
VALVULA_PROPOR_ON	Bool	%Q124.4
CALENTADOR	Bool	%Q124.1
LLAVE_MAN/AUTO	Bool	%I125.2
VALOR_BOMBA	Word	%QW752
VALOR_VALVULA	Word	%QW754
ON_NIVEL_PID	Bool	%M2.3
OFF_NIVEL_PID	Bool	%M3.3
PID_NIVEL	Bool	%M2.4
SP_PID_NIVEL	DWord	%MD60
OUT_SP_NIVEL	DWord	%MD156
Flujo_Planta	Real	%MD8
Nivel_move	Int	%MW6
PID_CAUDAL	Bool	%M2.0
ON_PID_CAUDAL	Bool	%M1.7
OFF_PID_CAUDAL	Bool	%M3.1

CONTINÚA



IN_SP_CAUDAL	DWord	%MD116
OUT_SP_CAUDAL	DWord	%MD192
Flujo_sensor	Int	%MW8
Nivel_Esc	Real	%MD2
T_Calentador	Bool	%M1.5
BOMBA_D_AN	Bool	%Q124.2
Temperatura_sensor	Real	%MD20
Temperatura_In	Real	%MD24
T_Vproporcional	Bool	%M1.6
Presión	Real	%MD12
T_Bomba	Bool	%M3.0
OFF_TEMPERATURA	Bool	%M2.2
ON_PIDNIVEL_HMI	Bool	%I0.0
ON_PIDNIVEL	Bool	%M1.1
ON_CTRL_TEMP	Bool	%I0.2
SP_NIVEL	Real	%MD100
SP_TEMPERATURA	Real	%MD105
RESET	Bool	%I125.3
LUZ_INICIO	Bool	%Q125.0
LUZ_RESET	Bool	%Q125.1
LUZ_Q1	Bool	%Q125.2
LUZ_Q2	Bool	%Q125.3
FLOTA_B102	Bool	%I124.2
FLOT_CONTRAREBOTE	Bool	%I124.1
Bola	Bool	%M1.4
ON_PID_CAUDAL_HMI	Bool	%I0.3

Para empezar con la programación es necesario dirigirse al main del programa de TIA Portal, si se desea se puede cambiar el nombre como se aprecia en el primer paso, luego se utiliza las herramientas directas de programación como se aprecia en el segundo paso,

y se procede a seleccionar el segmento en el que se está trabajando como se puede apreciar en el paso 3 de la Figura 29.

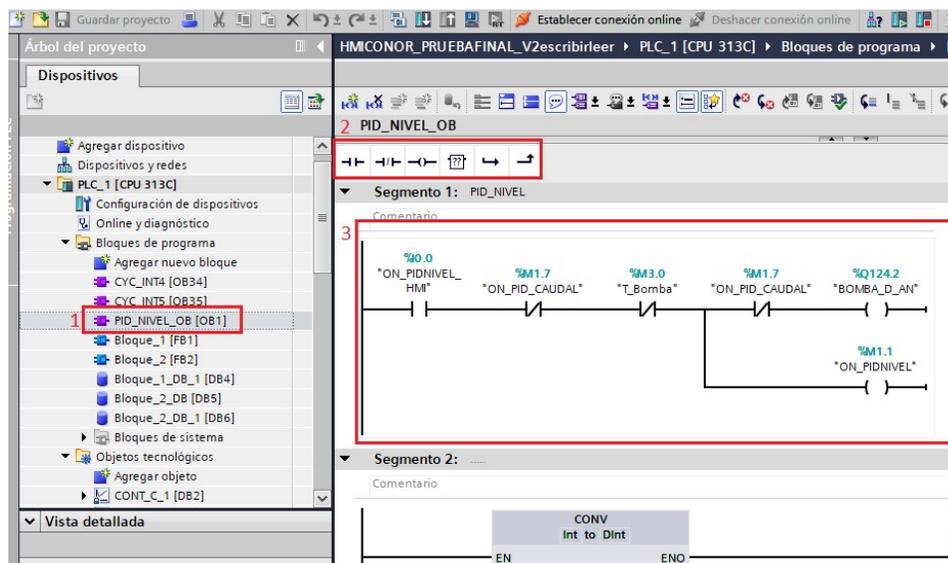


Figura 29 Programación del main principal

Creación de bloque de función

Dentro de la programación es necesario tener en cuenta que se utilizan sensores analógicos los mismos que nos entregan una medición en voltaje de 0-10V por lo tanto al momento de leer esto dentro del PLC nos muestra como resolución de bits por lo cual Para poder realizar el escalamiento de una señal analógica se optó por realizar el uso de la pendiente de la recta como se muestra en la Figura 30 *Ecuación de la pendiente de la recta*.. Este concepto se centra en que hay que considera en el eje “X” se pueden apreciar los valores de conversor análogo-digital del módulo mientras que en el eje “Y” se puede apreciar los valores que se desea ver por el usuario como se puede observar en y estos datos de salida comprende °C, Litros, cm, bar, Lt/min, entre otros.

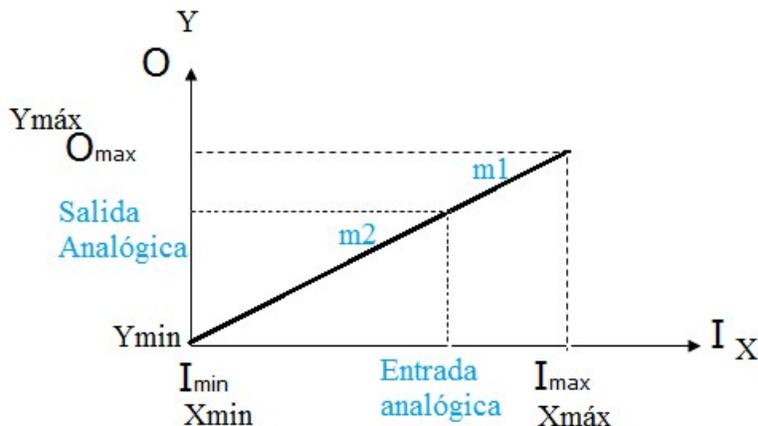


Figura 30 Ecuación de la pendiente de la recta.

Para poder determinar el comportamiento que tiene el sensor fue importante tener en cuenta la Ecuación 3, que es la ecuación para el cálculo de la pendiente de una recta 4

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad \text{Ec 3}$$

Mediante la Figura 30, se puede determinar que las pendientes m_1 y m_2 son las mismas por lo tanto se tiene que:

$$m_1 = m_2$$

Se realiza el remplazo de la Ec 3 en la igualdad de pendiente, lo que da como resultado la Ec 4:

$$\frac{Y_{\text{máx}} - Y_{\text{mín}}}{X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}} = \frac{\text{Salida analógica} - Y_{\text{mín}}}{\text{Entrada analógica} - Y_{\text{mín}}} \quad \text{Ec 4}$$

De la Ec 4 se despeja la salida analógica necesaria lo que da como resultado la Ec 5.

$$\text{Salida analógica} = \left(\left(\frac{Y_{\text{máx}} - Y_{\text{mín}}}{X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}} \right) \text{Entrada analógica} - X_{\text{mín}} \right) + Y_{\text{mín}} \quad \text{Ec 5}$$

Las variables correspondientes a la Ec 5 se describen a continuación:

- $X_{\text{mín}}$: Valor mínimo en bits que lee el sensor

- $X_{m\acute{a}x}$: Valor máximo en bits que lee el sensor
- $Y_{m\acute{i}n}$: Valor mínimo escalado ($^{\circ}C$, bar, Litros, Lt/min)
- $Y_{m\acute{a}x}$: Valor máximo escalado ($^{\circ}C$, bar, Litros, Lt/min)
- Entrada análoga: Valor en bits que detecta el PLC al momento de leer el voltaje (0-10) o la corriente (4-20) mA.
- Salida análoga: Valor escalado ($^{\circ}C$, bar, Litros, Lt/min)

Como se necesita obtener el valor de los cuatro sensores se procede a realizar un escalamiento a cada uno de estos como se muestra a continuación lo que se repite para cada uno de ellos, hay que tomar en cuenta que esto se lo realiza manualmente debido a que este tipo de PLC no cuenta con el cuadro, ya que si se trabaja con un PLC 1200 no se tendrá estos inconvenientes.

En la figura Figura 31 se muestra el escalamiento de nivel para lo cual fue necesario realizar la toma de los datos de donde se obtuvo que a un nivel de 10 litros se obtiene 27648 bits, mientras que en 0 litros se obtiene 0 bits.

Calculo de la pendiente del sensor de nivel se utiliza primero la Ec3:

$$m = \frac{Y_{m\acute{a}x} - Y_{m\acute{i}n}}{X_{m\acute{a}x} - X_{m\acute{i}n}} = \frac{10 - 0}{27648.0 - 0} = 0.0003616$$

Reemplazo la pendiente en Ec 5, así como los datos obtenidos anteriormente:

$$Nivel (L) = (0.0003616 * Entrada analógica - 0) + 0$$

$$Nivel (L) = (0.0003616 * Entrada analógica)$$

$$Nivel (L) = 0.0003616 * MD2$$

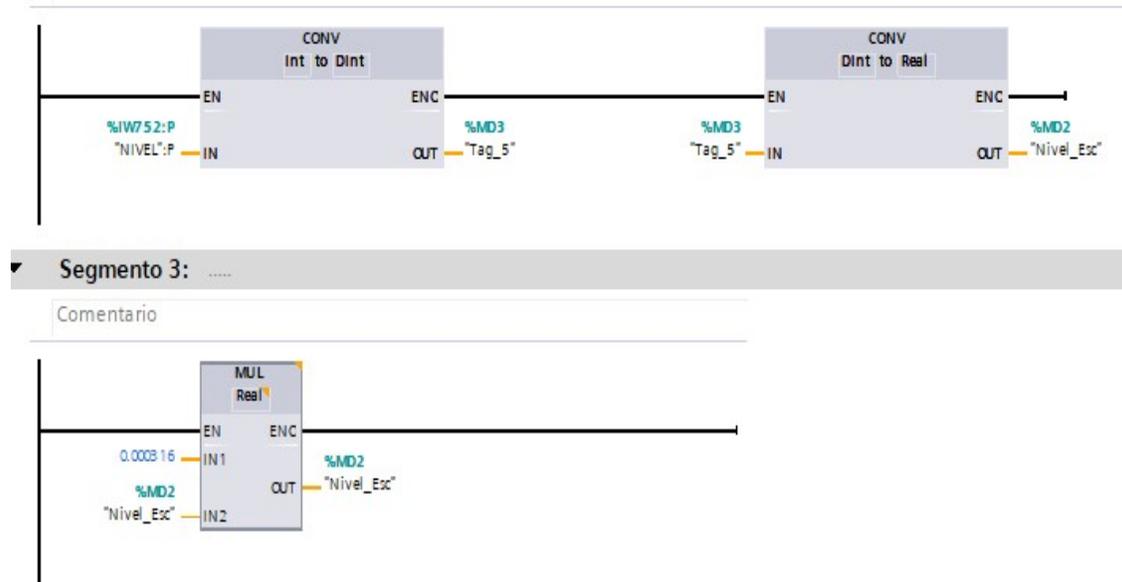


Figura 31 Escalamiento de sensor de nivel

Para el escalamiento de temperatura se tiene en cuenta los datos nominales de la termocupla es desde $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, en donde se determinó que se tiene 0 bits y 27648 bits respectivamente, luego se procede a obtener el cálculo de la pendiente correspondiente:

$$m = \frac{Y_{\text{máx}} - Y_{\text{mín}}}{X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}} = \frac{150 - (-50)}{27648.0 - 0} = 0.007233$$

Reemplazo la pendiente en Ec 5, así como los datos obtenidos anteriormente:

$$\text{Temperatura } (^{\circ}\text{C}) = (0.007233 * \text{Entrada analógica} - 0) - 50$$

$$\text{Temperatura } (^{\circ}\text{C}) = (0.007233 * \text{Entrada analógica} - 50)$$

$$\text{Temperatura } (^{\circ}\text{C}) = 0.007233 * MD24 - 50$$

Para el escalamiento de presión se tiene en cuenta los datos nominales del sensor de presión el cual trabaja de 0-400mbar, mientras que se tiene en bits un rango de 0-27648 bits y de esta manera se procede al cálculo de la pendiente correspondiente:

$$m = \frac{Y_{\text{máx}} - Y_{\text{mín}}}{X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}} = \frac{400\text{mbar} - (0)}{27648.0 - 0} = 0.000014467$$

Reemplazo la pendiente en Ec 5, así como los datos obtenidos anteriormente:

$$\text{Presión (bar)} = (0.000014467 * \text{Entrada analógica} - 0) - 0$$

$$\text{Presión (bar)} = (0.000014467 * \text{Entrada analógica} - 0)$$

$$\text{Presión (bar)} = 0.000014467 * MD12$$

Para el escalamiento de caudal/flujo se tiene en cuenta los datos nominales del sensor de caudal con el que trabaja de 0,3-9 Lt/min, mientras que los bits son 0-27648 respectivamente, luego se procede al cálculo de la pendiente correspondiente:

$$m = \frac{Y_{\text{máx}} - Y_{\text{mín}}}{X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}} = \frac{9 - (0,3)}{27648.0 - 0} = 0.0003146$$

Reemplazo la pendiente en Ec 5, así como los datos obtenidos anteriormente:

$$\text{Caudal (l/min)} = (0.0003146 * \text{Entrada analógica} - 0) - 0$$

$$\text{Caudal (l/min)} = (0.0003146 * \text{Entrada analógica} - 0)$$

$$\text{Caudal (l/min)} = 0.0003146 * MD8$$

Creación de bloque de función

Llamados también bloques de memoria, mediante este bloque se depositan parámetros de entrada, salida y entrada/salida de forma permanente que se encuentran disponibles después de editar el bloque.

Los bloques de función también pueden funcionar con variables temporales. No obstante, las variables temporales no se almacenan en el DB instancia, sino que únicamente permanecen disponibles durante un ciclo, por lo tanto, de acuerdo con la Figura 32 para crear un bloque de función hay que dirigirse a la opción de agregar nuevo bloque, luego elegir bloque FB y programar como se ve en el paso tres.

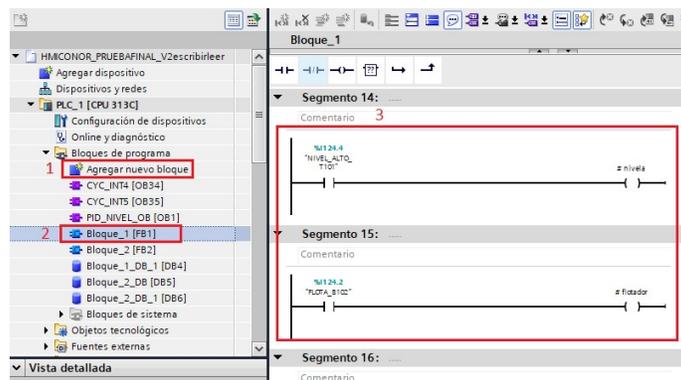


Figura 32 Creación del bloque de función

Creación de bloques de dato

Para poder leer y escribir los datos del PLC desde la aplicación a desarrollar es necesario manejar los registros del PLC por ende fue necesario la creación de bloques de datos de acuerdo con la función creada anteriormente en donde se almacenan los datos de programa que se está utilizando tanto para monitoreo de los sensores y el

manejo de los actuadores la estación de trabajo, de acuerdo a la Figura 33 en el primer recuadro se aprecia el nombre del bloque a utilizar , mientras que en el segundo recuadro se aprecia los datos que se utilizan para el manejo de los espacios de memoria dentro del PLC ya sean para leer o escribir.

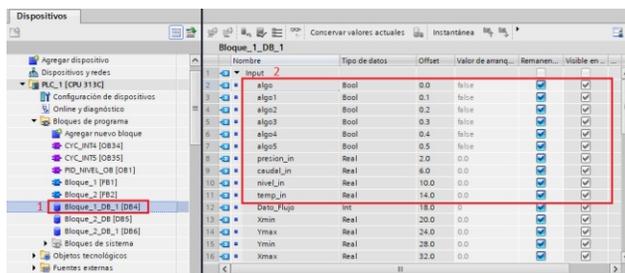


Figura 33 Bloque de datos.

Creación del PID

Para realizar el control de nivel fue necesario como se muestra en la Figura 34 la implementación de un bloque Cont_C que permite administrar los datos de configuración para el control PID y de la misma manera se crea un menú de programación que identifica y crea el adecuado funcionamiento con el direccionamiento de las variables dentro del control.

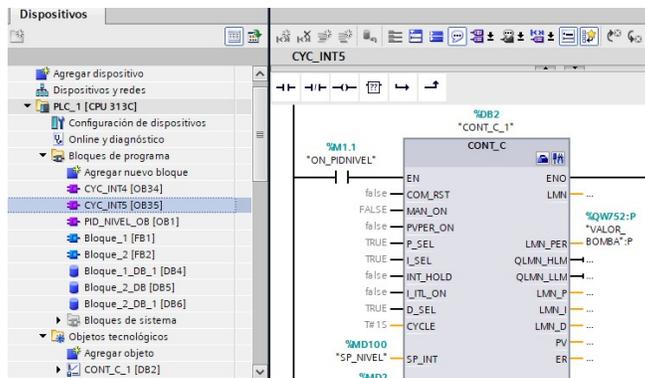


Figura 34 Bloque de PID.

Algoritmo PID

El algoritmo PID trabaja en el algoritmo de posición. Las acciones proporcionales, integral (INT) y derivativa (DIF) están conectadas en paralelo y pueden conectarse y desconectarse individualmente. De esta forma pueden parametrizarse reguladores P, PI, PD y PID. Pero también son posibles reguladores I, como se puede apreciar en la Figura 35 Algoritmo PID

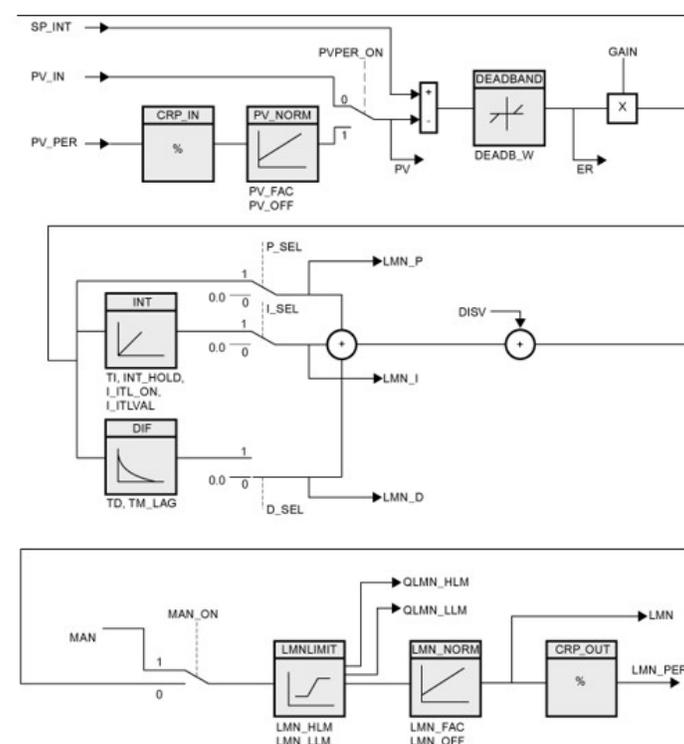


Figura 35 Algoritmo PID(CONT_C)

Fuente: (TIA PORTAL, 2014)

Para efectuar la sintonización del controlador PID fue necesario recurrir al método del tanteo en donde se realizó lo siguiente:

- Colocar un valor de coeficiente proporcional P alto e iniciar con ganancia integral y derivativa igual a cero ($I = \infty$ y $D = 0$), como se puede apreciar en la Figura 36.

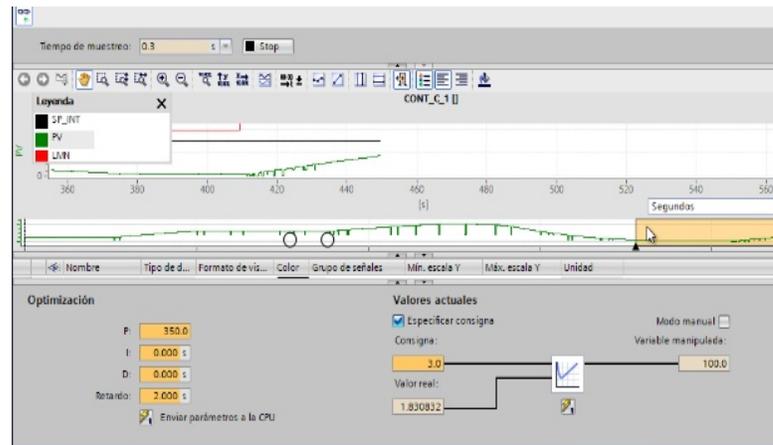


Figura 36 Constante proporcional

- Se comienza a aumentar la ganancia integral I hasta alcanzar la inestabilidad como se puede apreciar en la Figura 37.

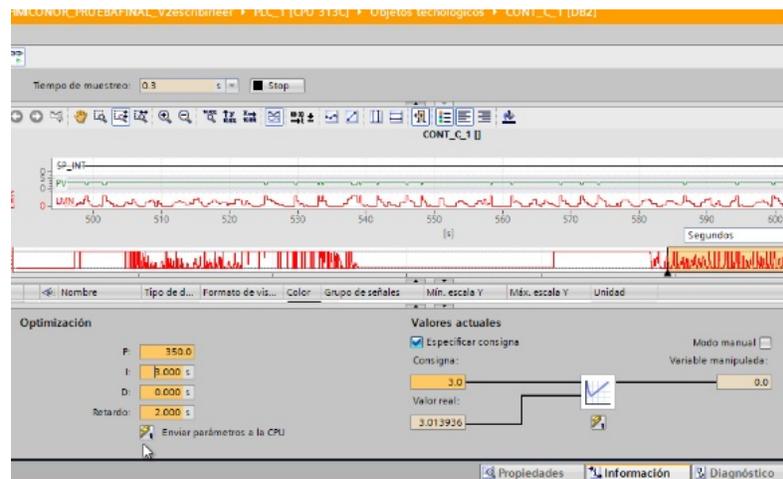


Figura 37 Constante Integral.

- Se aumenta la ganancia derivativa Kd mediante pequeños incrementos con pequeños desplazamientos del SP y hasta obtener un comportamiento cíclico como se muestra en la Figura 38.

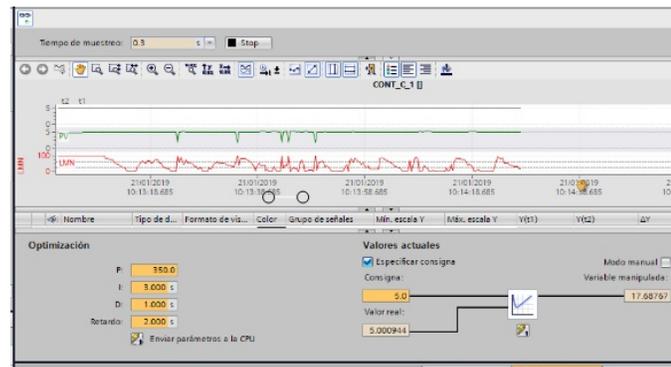


Figura 38 Constante Derivativa

- Se reduce en este punto la ganancia D y se ajusta la ganancia P (estrechando la banda proporcional) hasta alcanzar una respuesta óptima como se puede apreciar en la Figura 39 . (Golato, 2017)

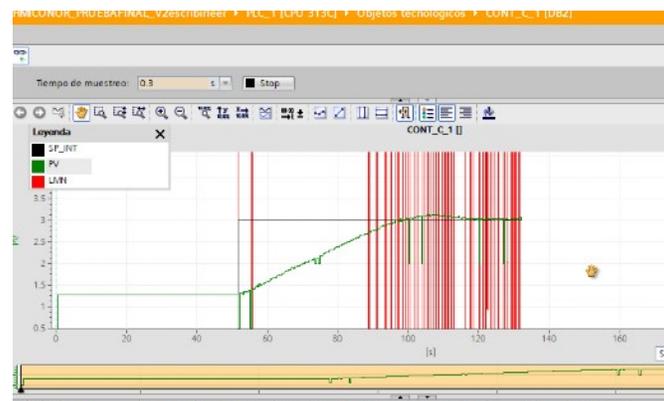


Figura 39 Control PID nivel

Por lo que se llegó a obtener como resultado los resultados que se pueden apreciar en la **Tabla 15**

Tabla 15
Parámetros de PID nivel.

Parámetros	Valores
P	395
Ti	3
Td	1

Programación WinCC TIA Portal

Pantalla Principal: En esta pantalla se muestra los datos relevantes como el nombre de la universidad, la carrera, el tema y las opciones de control que muestra (Nivel, Temperatura, Monitoreo) como se puede apreciar en la Figura 40.



Figura 40 Carátula de KTP 600

En la pantalla de control de nivel se puede apreciar que existe una etiqueta donde se muestra el valor del sensor, también un campo de texto que es el valor de set point a ingresar para que se ejecute el control PID correspondiente, además posee tres botones uno para poder encender el control PID, otro para poder apagar el control PID, y un botón que redirige a la pantalla principal como se aprecia en la Figura 41.

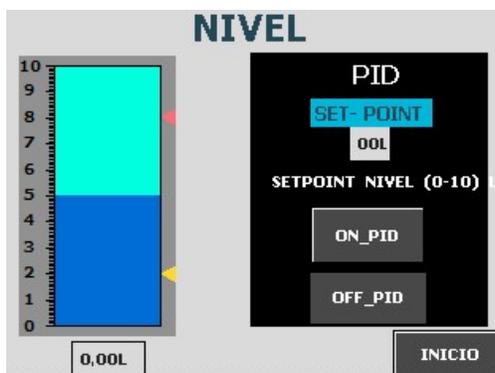


Figura 41 Ventana de PID nivel

En la pantalla de control de temperatura se puede apreciar que existe una etiqueta que se muestra el valor de temperatura de acuerdo con el obtenido por parte del sensor, también un campo de texto que es el valor de set point requerido por parte del usuario u operador, de la misma manera que la de control de nivel posee tres botones uno para poder encender el control, otro para poder apagar el control, y un botón que redirige a la pantalla principal como se observa en la Figura 42.

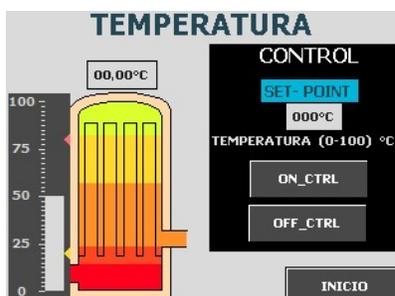


Figura 42 Ventana de PID de temperatura

De acuerdo a la Figura 43 , se puede observar que se cuenta con una pantalla que muestra el valor de los sensores que forman parte de la estación y el comportamiento con el fin de ver el proceso en conjunto, también posee una representación de cómo está distribuida la estación por completo y las activación o desactivación de los actuadores o sensores digitales.

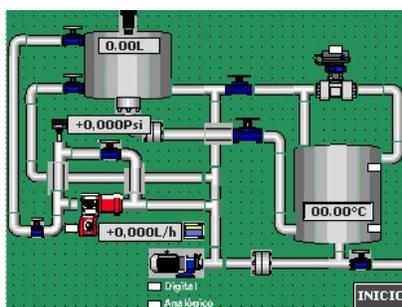


Figura 43 Ventana de procesos

4.2. Diagramas UML

4.2.1. Diagrama de caso de uso

El diagrama UML utilizado es el diagrama de caso de uso que se describe a continuación, donde las acciones que va a realizar la aplicación son monitoreo de datos, control de actuadores y despliegue de información, todos ellos son realizados por el usuario de la aplicación como se puede apreciar en la Figura 44.

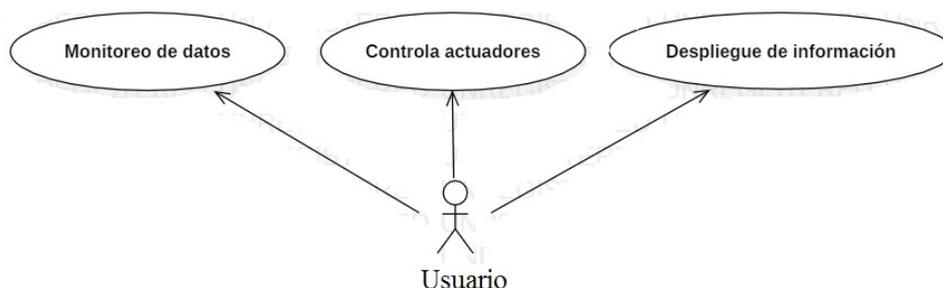


Figura 44 Diagrama de caso de uso aplicación

4.2.2. Diagrama de secuencia

En la Figura 45 se puede apreciar el diagrama de secuencia para el proceso de adquisición de datos, el usuario tiene que acceder al botón monitoreo que está dentro del menú de la aplicación, al realizar esta acción se muestran los datos requeridos.

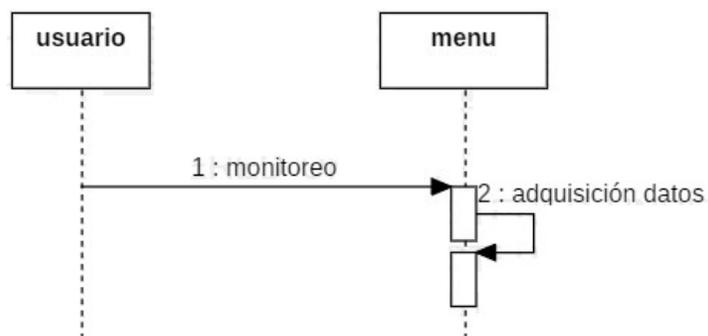


Figura 45 Diagrama de secuencia de adquisición

En la Figura 46 se puede apreciar el diagrama de secuencia para el proceso de controlar los actuadores, el usuario debe acceder al boton control, dentro del menú y posteriormente realizar la opción de activar o desactivar los actuadores.

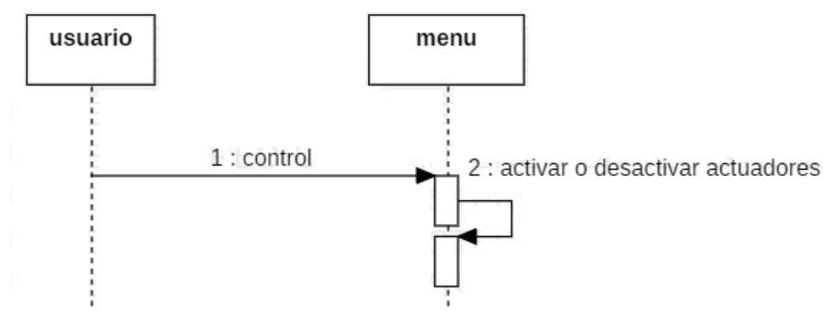


Figura 46 Diagrama de secuencia de control

En la Figura 47 se puede apreciar el diagrama de secuencia para activar la cámara de realidad aumentada, el usuario debe ingresar en el botón ARN, dentro del menú principal 1, posteriormente debe ingresar una opción, en este caso NIVEL, con el cual se va a iniciar la cámara y el seguidor de puntos se va a activar, permitiendo el reconocimiento de objetos.

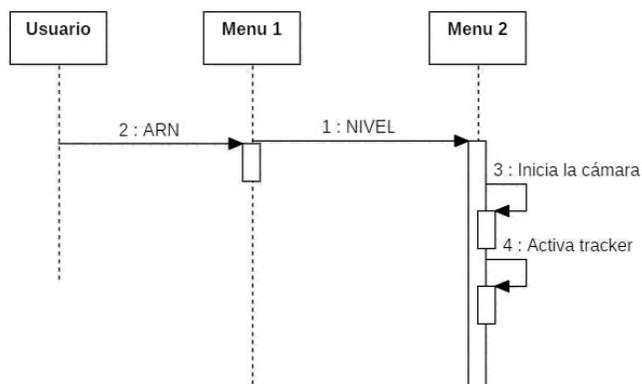


Figura 47 Diagrama de secuencia de cámara

4.3. Diseño de la aplicación

La aplicación tiene un diagrama de flujo como se observa en la Figura 48.

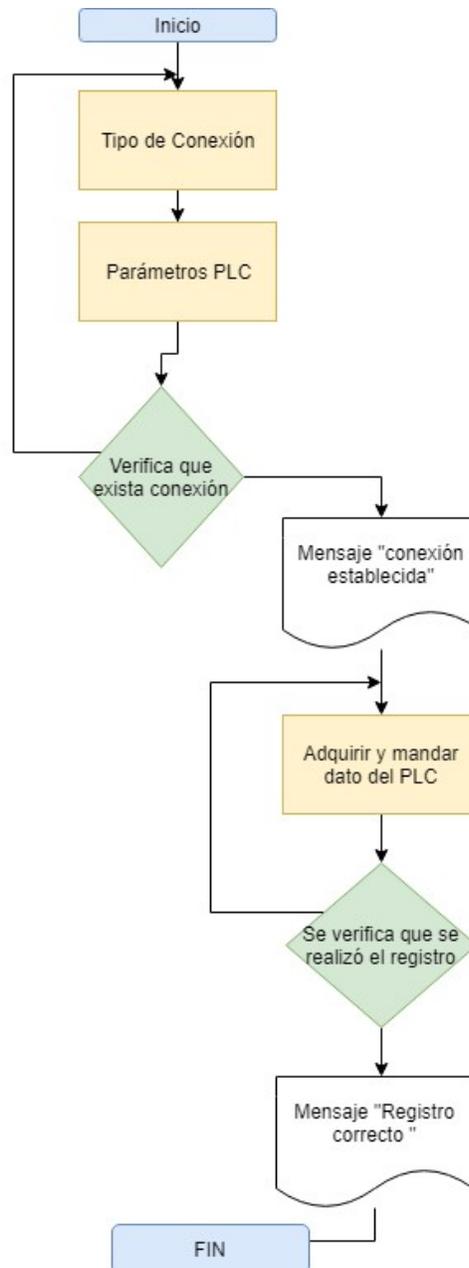


Figura 48 Diagrama de flujo de la aplicación

Este diagrama consiste en primer lugar en establecer el tipo de conexión que se requiere utilizar, posteriormente se establecen los parámetros específicos del PLC como es su número de IP, su rack y slot.

Cuando ya se establecen estos parámetros se verifica la conexión, si esta existe se manda un mensaje de conexión establecida y se continua con el proceso. Dependiendo si se requiere monitorear o controlar las variables se utilizan las funciones read y write con sus respectivos parámetros como son tamaño de dato y posición en el DB.

Finalmente se verifica que el registro sea correcto, si es así se muestra en un mensaje como “Registro correcto”.

A continuación se realiza la explicación de cada uno de los pasos que se realizaron para desarrollar la aplicación final para lo cual fue necesario la utilización de programa Android Studio para crear archivo classes.jar, luego se realizó la comunicación de Android Studio con Unity y viceversa, continuando así con uso de las Librerías de Moka7, las asignaciones de botones, animaciones, creación de escenas, importación de objetos, programación de scripts, generación de realidad aumentada y generación de la aplicación para los dispositivos Android.

4.3.1. Android Studio con Unity

a. Creación archivo classes.jar en unity desde Android Studio

Crear un nuevo proyecto en Android Studio, en este caso llamado “TESIS”, Añadir una actividad “Add No Activity” y se añade un nuevo módulo llamado “Android Library” como se puede apreciar en la Figura 49.

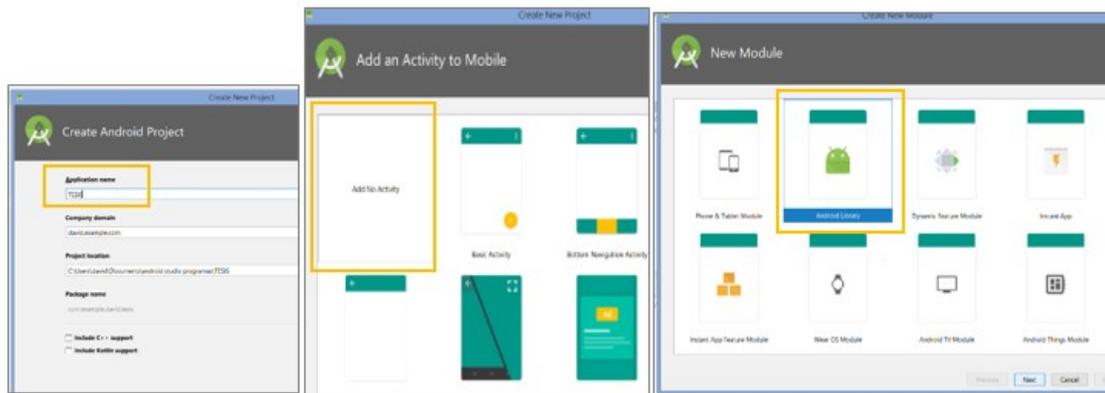


Figura 49 Pasos previos para la creación archivo classes.jar

Como se observa en la Figura 50, se crea una clase llamada “Plugging” en la carpeta “java” del módulo creado “mylibrary”. Esta clase va a contener todo el programa del proyecto. Una vez creado se compila el programa en build, “make mylibrary”

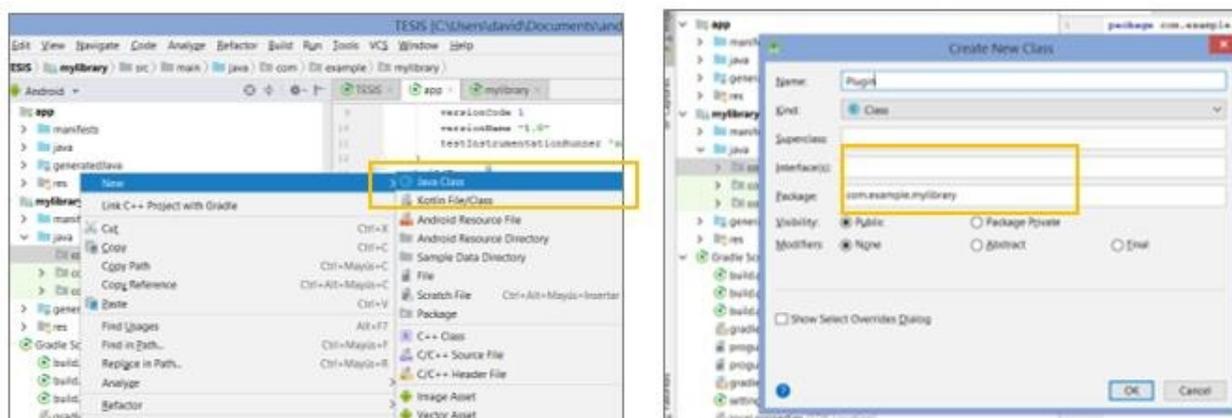


Figura 50 Generación de módulo creado.

Al compilar el programa, se crea un archivo llamado “classes.jar” y nos debe aparecer igual a la Figura 51.

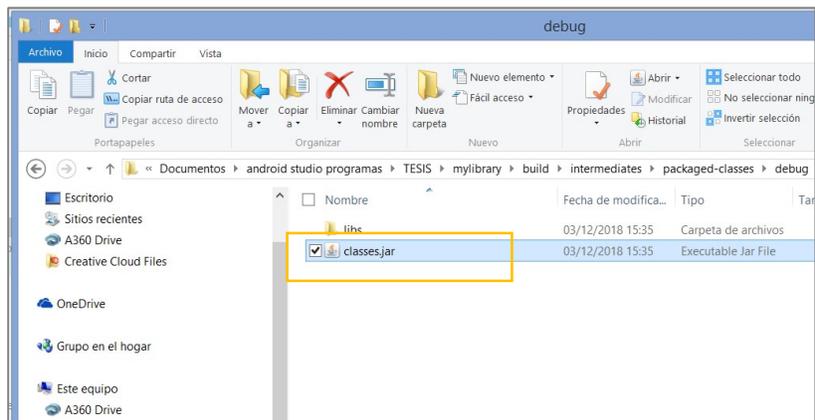


Figura 51 Creación archivo classes.jar

Para continuar hay que realizar una serie de pasos como se puede apreciar en Figura 52, se crea un nuevo proyecto en Unity llamado “TESIS1” y en Asset se crea una nueva carpeta llamada “Plugging” y dentro de esta se crea otra carpeta llamada “Android”. Aquí es donde se creará el archivo classes.jar automáticamente en el momento que un programa se compile en Android Studio, pero antes hay configurar en el gradle del programa de Android.

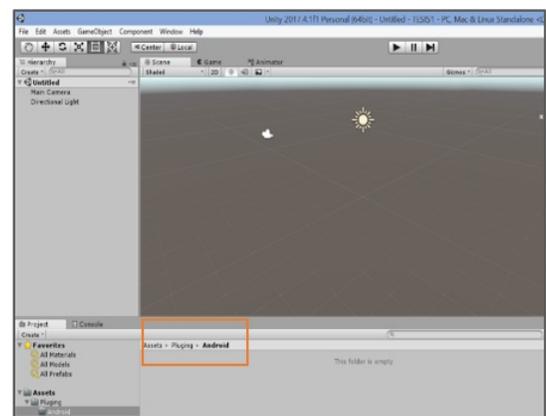
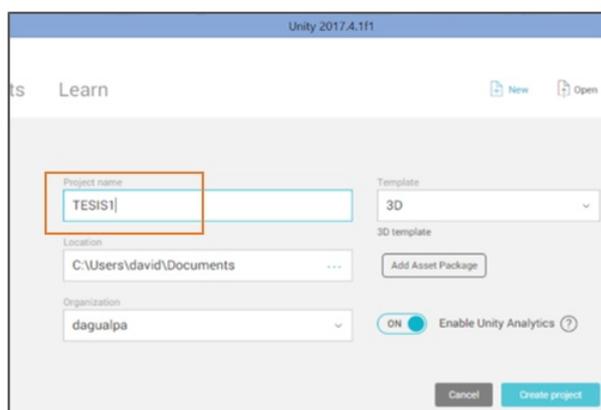


Figura 52 Creación de proyecto Unity.

En el build gradle Script del programa de Android, se copia el texto subrayado en la Figura 53 y se compila el programa.

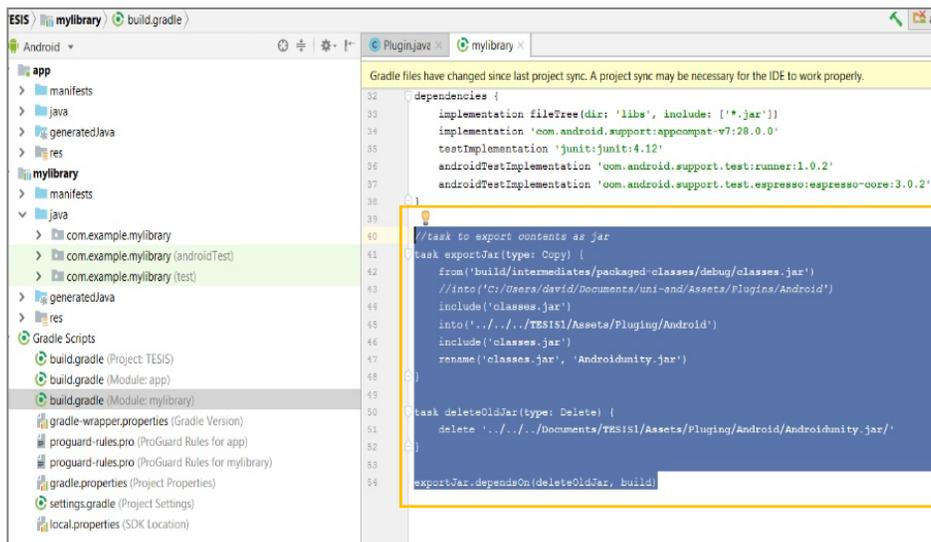


Figura 53 Parámetros del guardado automático 1.

Luego como se puede apreciar en la Figura 54 *Parámetros del guardado automático* 2. se identifica la ubicación donde se guardará el archivo classes.jar en el programa de Unity y cada vez que se compile el programa se actualizará automáticamente.



Figura 54 Parámetros del guardado automático 2.

b. Utilización de funciones Unity desde Android

Para poder utilizar las funciones que tiene por defecto Unity en Android hay que realizar el siguiente procedimiento, mostrado en la Figura 55, y detallado en el Anexo A

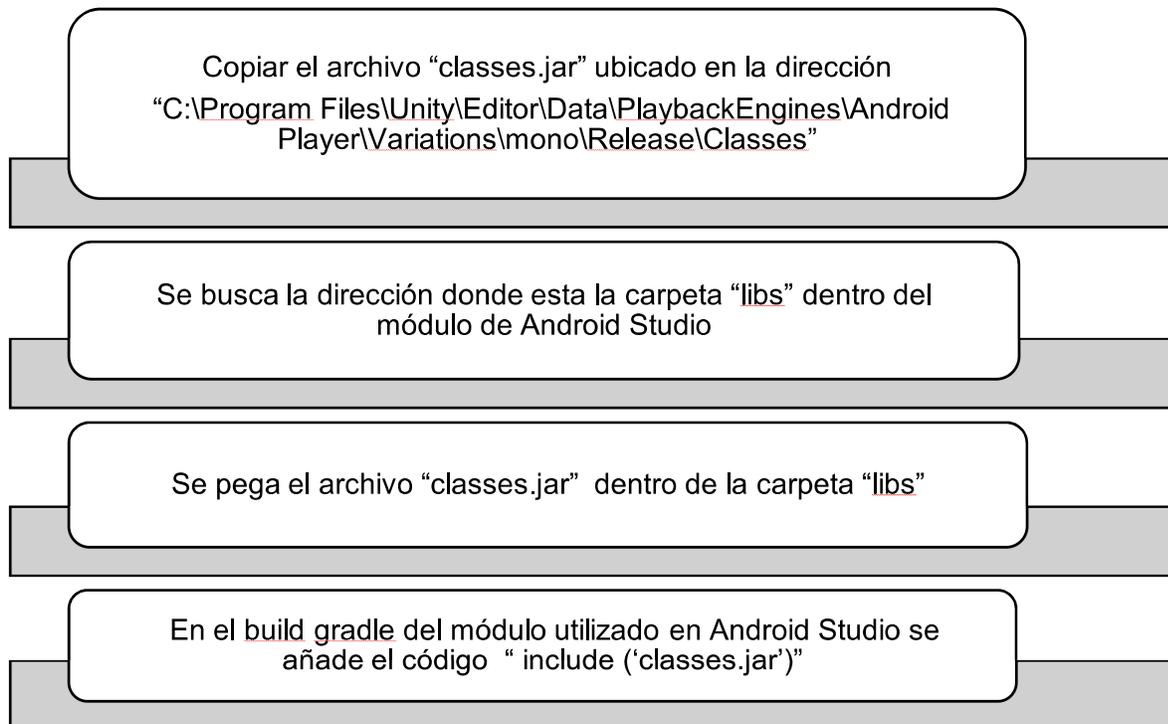


Figura 55 Utilizar funciones de Unity

c. Importación de la librería Moka 7

Para poder comunicarse con los PLCs desde un programa Java se debe utilizar la librería Moka7, el cual contiene un conjunto de clases de código fuente compatibles con los PLCs S7.

Para utilizar esta librería se sigue el siguiente procedimiento como se muestra en la Figura 56 para poder ver el proceso con más detalles se recomienda acceder al Anexo B

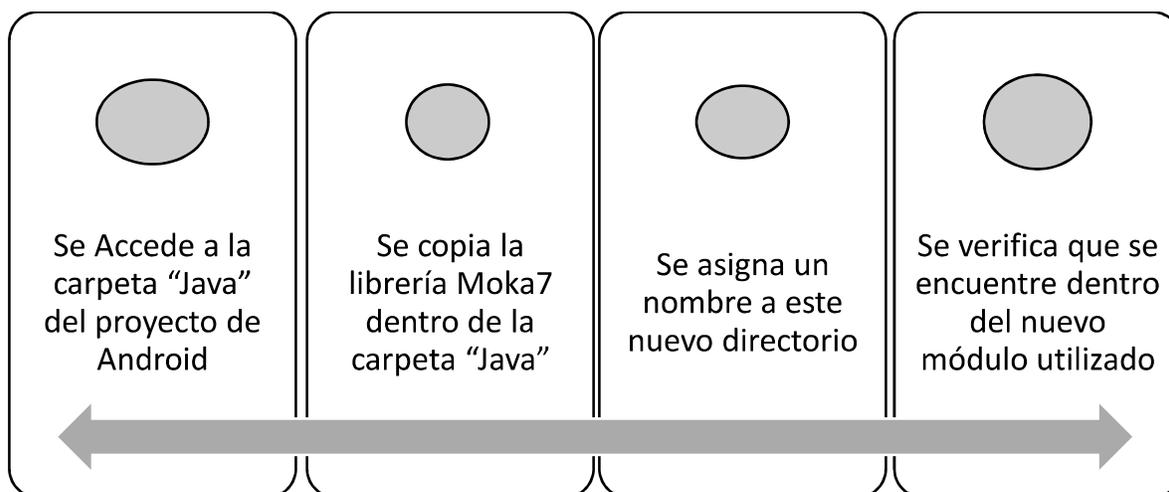


Figura 56 Importación librería Moka7

4.3.2. Desarrollo de la interfaz en Unity

a. Importar un tema de fondo a la aplicación

En la Figura 57 se muestra el tema de la aplicación denominado "Unity Samples UI" fue importada desde el asset Store de Unity, la cual es gratuita, cuenta con una interfaz en 3D que tiene botones interactivos en los cuales se pueden modificar su contextura y tamaño. El proceso de importación es sencillo solo se debe seleccionar "open in unity", y automáticamente se instalará en el proyecto de unity que se está trabajando.

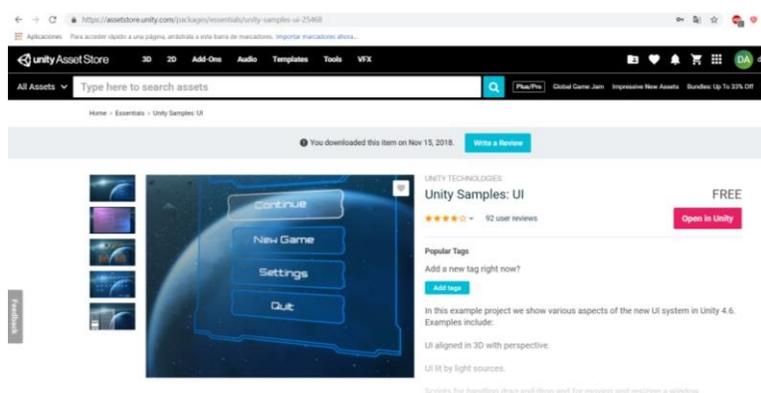


Figura 57 Inserción de fondo

b. Componentes de una escena, archivos script y acción de botones

En la Figura 58 se puede apreciar los diferentes tipos de componentes que conforman una escena y las características que tienen cada una de ellas, a continuación, se detallan algunas:

- En toda escena siempre debe haber un canvas y dentro de este un panel, que es el área en donde se va a ubicar a todos los objetos, textos o botones de forma ordenada y simétrica.
- Los botones son elementos dispensables en cualquier aplicación, en unity se puede modificar el botón según se requiera ya sea las dimensiones, la forma o la textura.
- El script que se va a utilizar siempre se debe insertar dentro de un “Game Object” en la ventana de jerarquía
- Si se desea que la interfaz de la pantalla tenga una imagen de fondo, se inserta una que tenga por defecto Unity, en este caso “SF Background”



Figura 58 Componentes de una escena.

c. Asignar una función a los botones

Una vez creado los botones en la ventana de jerarquía, se requiere asignar una funcionalidad a estos, para esto es necesario la creación de un script, el script se asigna a un gameobject. En la ventana de escena se puede visualizar el tamaño del botón y modificar según se requiera, para asignar la función del botón, se debe acceder al inspector window, y en el cuadro “On clic” se asigna un gameobject, la función que se desea que realice, y el parámetro que se desea enviar a la función cuando se requiera. Estos pasos se muestran en la Figura 59



Figura 59 Asignación de botones.

d. Animación de botones

Se escoge el botón, en las configuraciones del botón se escoge “animation” y se guarda la animación dentro de “Assets” como se realizó en la Figura 60.

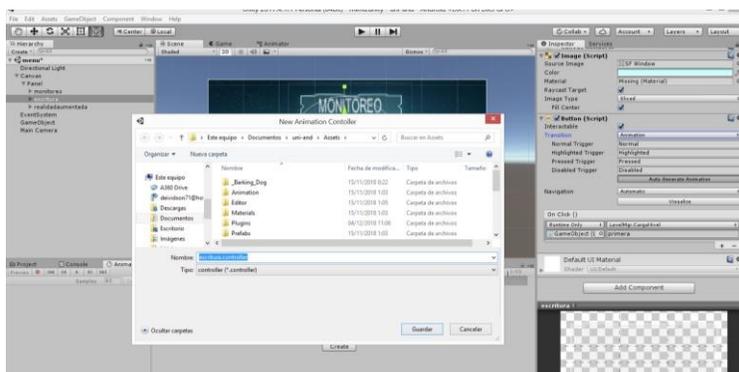


Figura 60 Animación de botones

En animación se escoge la opción “Pressed”, porque cuando se presione el botón va a reproducirse la animación. Una vez seleccionado el botón rojo se cambia todas las nuevas configuraciones que va a tener la animación como el tamaño del botón o el color como se puede observar en la Figura 61.



Figura 61 Opciones de animación de botones

El script que se necesita tiene que ser arrastrado al windows inspector dentro del GameObject creado anteriormente, mientras que el 2 es el script que se va a utilizar en el proyecto, debe estar ubicada dentro de Assets como se puede ver en la Figura 62.

3.1.1. Realidad aumentada

Mediante la realidad aumentada se va a definir los pasos requeridos para poder realizar la práctica y el despliegue de información referente a la estación de una forma didáctica y adecuada.

El sistema de reconocimiento inicia cuando el teléfono comienza a enfocar una escena mediante el uso de la cámara, a manera de video, de este video se transforman en imágenes secuenciales y se cambian las resoluciones de las imágenes para que se pueda utilizar el tracker. Las imágenes que se requieren detectar para el uso de realidad aumentada, son subidas a la plataforma de vuforia, y el sistema se encarga de vectorizar las imágenes para compararlos con las imágenes captadas por el celular mediante un seguidor y comparador de puntos llamado tracker, después de la comparación y al verificar que los puntos entre las 2 imágenes coinciden, la aplicación renderiza un contenido ya sea una imagen, un video o un texto y se visualiza en el teléfono celular, este proceso se detalla en la Figura 64.

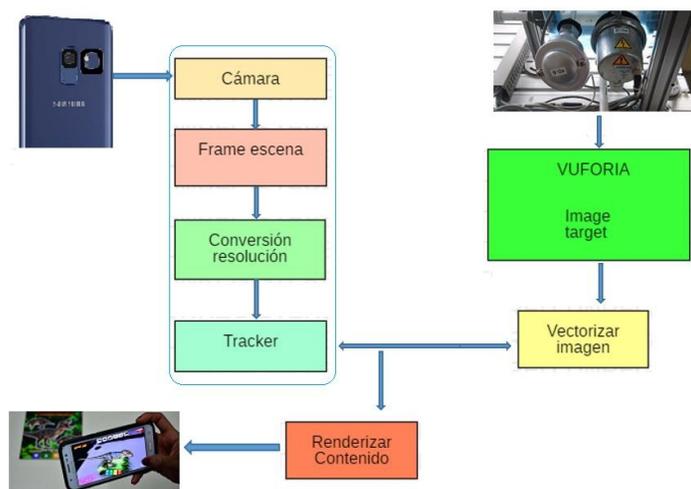


Figura 64 Diagrama de sistema de reconocimiento.

Para implementar la realidad aumentada al proyecto de Unity con el que se realizó la comunicación es necesario seguir los pasos que se muestran en la Figura 65.

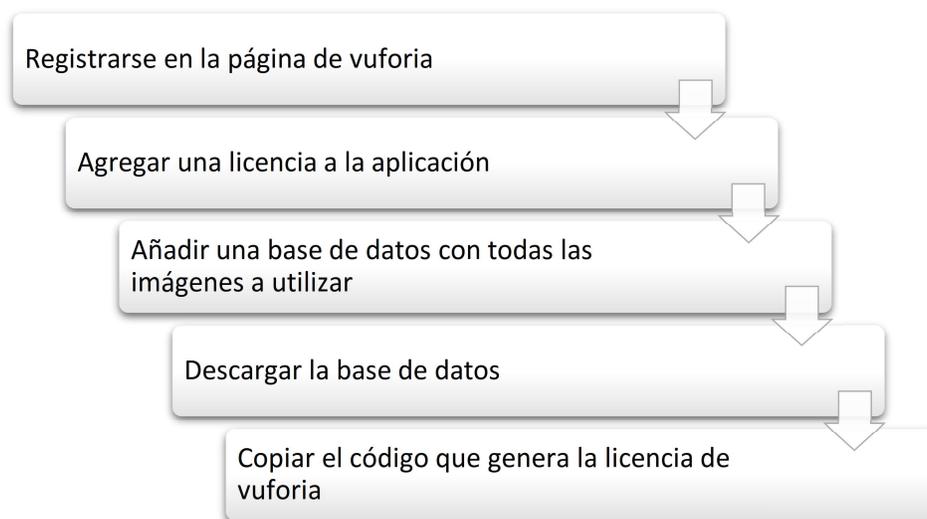


Figura 65 Procedimiento realidad aumentada

El código que se genera en el License Manager de Vuforia, es como el que se visualiza en la Figura 66, y este se usará al momento de la creación e importaciones de las librerías en el proyecto de Unity.

TESIS [Edit Name](#) [Delete License Key](#)

License Key [Usage](#)

Please copy the license key below into your app

```

Ac/pZzv/////AAABme6ZzuPxTUxsxkMoGJY7npYaqiK64a+jEsR5
qnGHnkOGXmfGkqApQJYOci62tsfgPJD/d9BZ6R2GEilnj7ynYBwb
EBgGUz4WV2XxlLXHt0ugWR+GVIIisiwQ3H1pDojcyI/gxDe91cLHI
ckwZ38RKkqz5onZVUK6HC12aqCIn5gL5bh8TSVvoX2rOjUCWRy6r
jN49b/vfTm2cwlbn9iA6iv8+I/yM2gpt6DHEjf+gsWciV65ELj/P
MwaKjJc9NxJmxTX2hYmZjIb4xwmoP0G/10Rt6P0VQhsJwPHKiBG
CyLI6hnNJCwZvdV0m9BFAXdIFykPRvMRE2MIJia/hl22sH3GzkKs
OI6fI2k
  
```

Type: Develop
Status: Active
Created: 11, 2018 16:18
Permissions:

- Advanced Camera
- External Camera
- Model Targets

Figura 66 Licencia para usar vuforia.

Para agregar la base de datos, se visualiza una ventana como el que se muestra en la Figura 67, donde se debe detallar el tipo de la imagen que se desea implementar, el ancho utilizado por la imagen y el nombre con el que quiere guardar y finalmente dar clic en agregar y así para cada una de las imágenes a utilizar.

Type:

Single Image Cuboid Cylinder 3D Object

File: 1

valvula.png Browse...

.jpg or .png (max file 2mb)

Width: 2

780

Width is required

Enter the width of your target in scene units. The size of the target should be on the same scale as your augmented virtual content. Vuforia uses meters as the default unit scale. The target's height will be calculated when you upload your image.

Name: 3

valvula

Name must be unique to a database. When a target is detected in your application, this will be reported in the API.

4

Cancel Add

Figura 67 Forma de cargar Image Target

Luego de haber seleccionado todas las imágenes que se van a utilizar, se debe comprobar que tan buena es la calidad de reconocimiento mediante las estrellas que se puede apreciar en la Figura 68. Es necesario trabajar con imágenes de 5 estrellas para que el reconocimiento de las imágenes sea casi perfecto.

<input type="checkbox"/>		VALVULACOLOR	Single Image	★★★★★	Active
<input type="checkbox"/>		BOLA	Single Image	★★★★★	Active
<input type="checkbox"/>		BOMBACOLOR	Single Image	★★★★★	Active

Figura 68 Verificación de calidad

Para utilizar la base de datos de Vuforia en unity es necesario realizar los pasos mostrados en la Figura 69.



Figura 69 Base de datos Vuforia

Para activar vuforia dentro de Unity se debe acceder a las configuraciones de la interfaz y seleccionar la opción Vuforia para realidad aumentada, como se muestra en la Figura 70.



Figura 70 Activación de vuforia

Como se muestra en la Figura 71 Al costado izquierdo de la interfaz de Unity, en los componentes de jerarquía se procede a insertar la cámara de realidad aumentada de Vuforia y se elimina la cámara que viene por defecto.

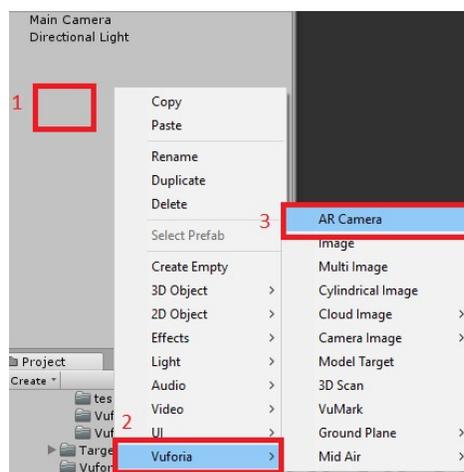


Figura 71 Agregar componente.

Luego de ya haber activado la base de datos hay que seguir los pasos que se muestran en la Figura 72 , por ende es necesario agregar el image target necesario para generar la parte de realidad aumentada por lo que se procede a dar clic derecho sobre los componentes de la escena con la que se está trabajando, luego seleccionar la opción de Vuforia y dar clic sobre imagen.

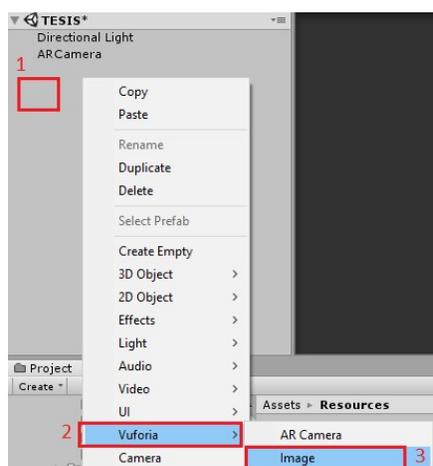


Figura 72 Implementación del Image Target

En las propiedades del AR Camera hay que realizar la configuración de las bases de datos de Vuforia dentro de la escena por lo cual se procede a seleccionar la opción de Open Vuforia configuración como se puede apreciar en la Figura 73.

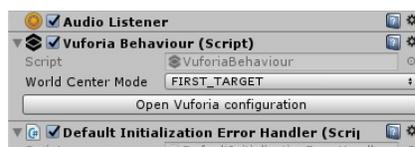


Figura 73 Ingreso a AR Camera

Luego aparecerá una ventana como la que se puede apreciar en la Figura 74, en donde en primer lugar hay que agregar la licencia que se generó en la Figura 66, luego

se procede a dar clic en la activación de esa base de datos y por último se colocar añadir base de datos.

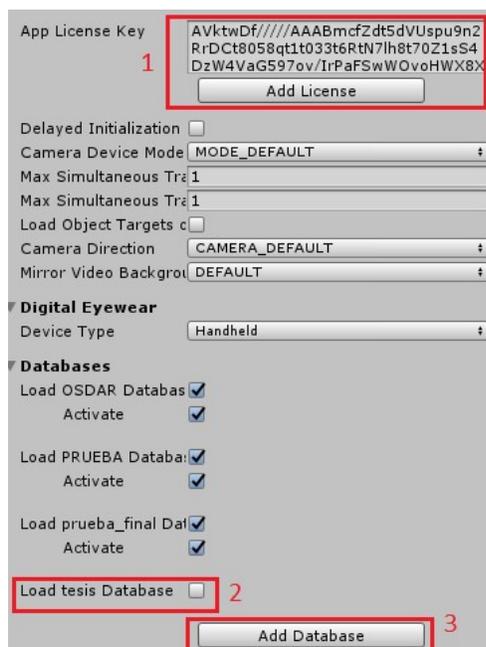


Figura 74 Activación de base de datos.

En primer lugar, hay que dar clic sobre sobre la opción de image target y en la parte de inspector desplegar la opción de Database y seleccionar la que se está o va a utilizar como se muestra en la Figura 75.

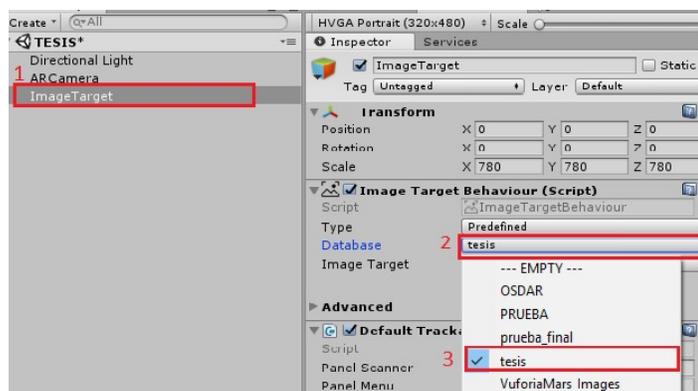


Figura 75 Configuración de Image Target.

Por último, se procede a verificar si se encuentra en el área de trabajo ya generada la image target a utilizar como se puede ver en la Figura 76 y de esta manera empezar con la configuración y animación de acuerdo a las opciones deseadas por el usuario.

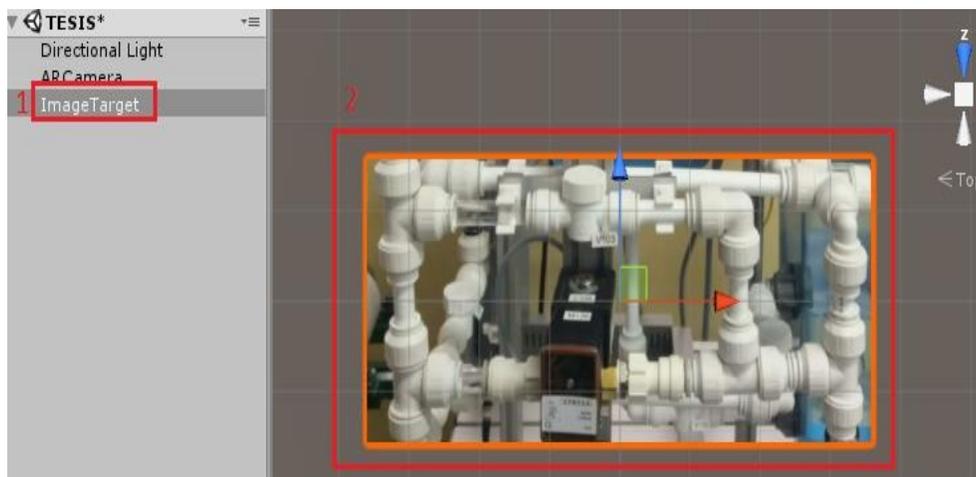


Figura 76 Verificación de Image Target.

Para poder agregar objetos o animaciones creadas por parte de otros softwares, simplemente hay que de la parte de objetos del proyecto arrastrarlos hacia el image target como es visible en la Figura 77.

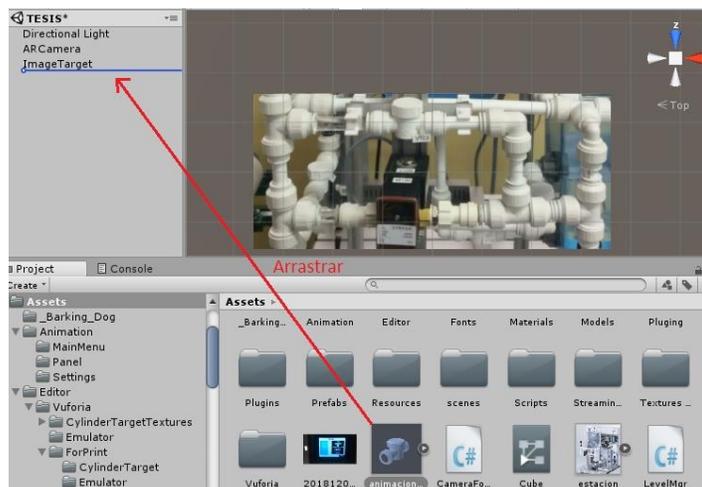


Figura 77. Agregar objetos a image Target.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se detallan las pruebas realizadas al sistema ciber-físico, tanto pruebas mecánicas, eléctricas, electrónicas y de control, resultados de la aplicación, así como pruebas de la aplicación, además se realizó la validación de la hipótesis del proyecto mediante el método del chi cuadrado.

5.1. Pruebas parte Mecánicas

A cada elemento que forma parte de la estación de trabajo compacto MPS se le realizó las pruebas pertinentes de funcionamiento con respecto a la parte mecánica, es decir verificación del mecanismo, ajustes, acoples, existencia de fugas, para lo cual en la Tabla 16 se puede apreciar si se encuentra funcional o no cada uno de los elementos tomados en cuenta.

Tabla 16

Resultados de pruebas parte Mecánicas

N°	Elemento de Prueba	Etiqu.	Limp.	Ajus.	Funcio.	Reem.	Obser.
1	Carro transportador		Si	Si	Si	No	
2	Placa de perfil		Si	Si	Si	No	
3	Soportes de tanques		Si	Si	Si	No	
4	Bastidor de montaje		Si	Si	Si	No	
5	Tuberías		Si	Si	Si	No	
6	Tanques de agua	B101, B102	Si	Si	Si	No	
7	Válvula manual.		Si		Si	No	
8	Válvula proporcional	V106	Si		Si	No	

CONTINÚA



9	Válvula de bola	V102	Si	Si	No
10	Interruptor de flotador umbral	S112	Si	Si	No
11	Interruptor de flotador de desbordamiento	S111	Si	Si	No
12	Interruptor de flotador	S117	Si	Si	No

5.2. Pruebas parte Eléctricas y conexión.

La parte eléctrica y de conexión se realiza la verificación de funcionamiento de los módulos de alimentación, comunicación y conversión de datos, así como las conexiones a cada uno de los sensores, actuadores tanto para la alimentación como para la comunicación, en donde se verificó que los voltajes y las corrientes sean las apropiadas de acuerdo con cada uno de los elementos, en la siguiente Tabla 17 se realiza la verificación de si se encuentra o no funcional cada uno de los elementos.

Tabla 17

Resultado de pruebas parte Eléctricas y conexión.

N°	Elemento de Prueba	de	Etiqu.	Verifi. de conex.	Verifi. (V/I)	Funciona	Observaciones
1	Terminal de I/O (Station Syslink).		XMA1	Si	Si	Si	Opera correctamente
2	Terminal análoga.		X2	Si	Si	Si	Opera correctamente
3	Relay K1		K1	Si	Si	Si	Opera correctamente
4	Relé de potencia K106		K106	Si	Si	Si	Opera correctamente
5	Controlador de motor		A4	Si	Si	Si	Opera correctamente
6	Convertidor de medición I / U		A1	Si	Si	Si	Opera correctamente
7	Convertidor de medición f / U		A2	Si	Si	Si	Opera correctamente
8	Convertidor de medición PT100 / U		A3	Si	Si	Si	Opera correctamente
9	Mirando limitador de corriente		A5	Si	Si	Si	Opera correctamente

5.3. Pruebas parte Electrónicas y de control

La parte de electrónica y de control está enfocado al funcionamiento de los sensores y actuadores tanto en la activación como desactivación de estos mediante software, así como el monitoreo de estado de estos para la cual primero se verifico el funcionamiento mediante el software TIA Portal tomando en cuenta los aspectos del estado que tiene cada uno de ellos y de esta manera se determinó si son o no funcionales como se puede apreciar en la Tabla 18

Tabla 18

Resultados de pruebas parte Electrónicas y de control

N°	Elemento de Prueba	Etiqu.	Funcional		Observaciones
			Elec.	Ctrol.	
1	Interruptor de flotador umbral	S112	Si	Si	Opera Correctamente
2	Interruptor de flotador de desbordamiento	S111	Si	Si	Opera Correctamente
3	Interruptor de flotador	S117	Si	Si	Opera Correctamente
4	Válvula proporcional	V106	Si	Si	Opera Correctamente
5	Válvula de bola	V102	Si	Si	Opera Correctamente
6	Bomba centrífuga	P101	Si	Si	Opera Correctamente
7	Calentador	E104	Si	Si	Opera Correctamente
8	Sensor de Caudal	B102	Si	Si	Opera Correctamente
9	Sensor de proximidad capacitivo		Si	Si	Opera Correctamente
10	Termocupla PT100	B104	Si	Si	Opera Correctamente
11	Detectores de proximidad	B113, B114	Si	Si	Opera Correctamente

5.4. Resultados de la interfaz de la aplicación

En la Figura 78 se muestra el esquema de la aplicación, donde detalla las ventanas de la aplicación de forma ordenada y posteriormente se explica la funcionalidad de cada ventana, así como de los botones.

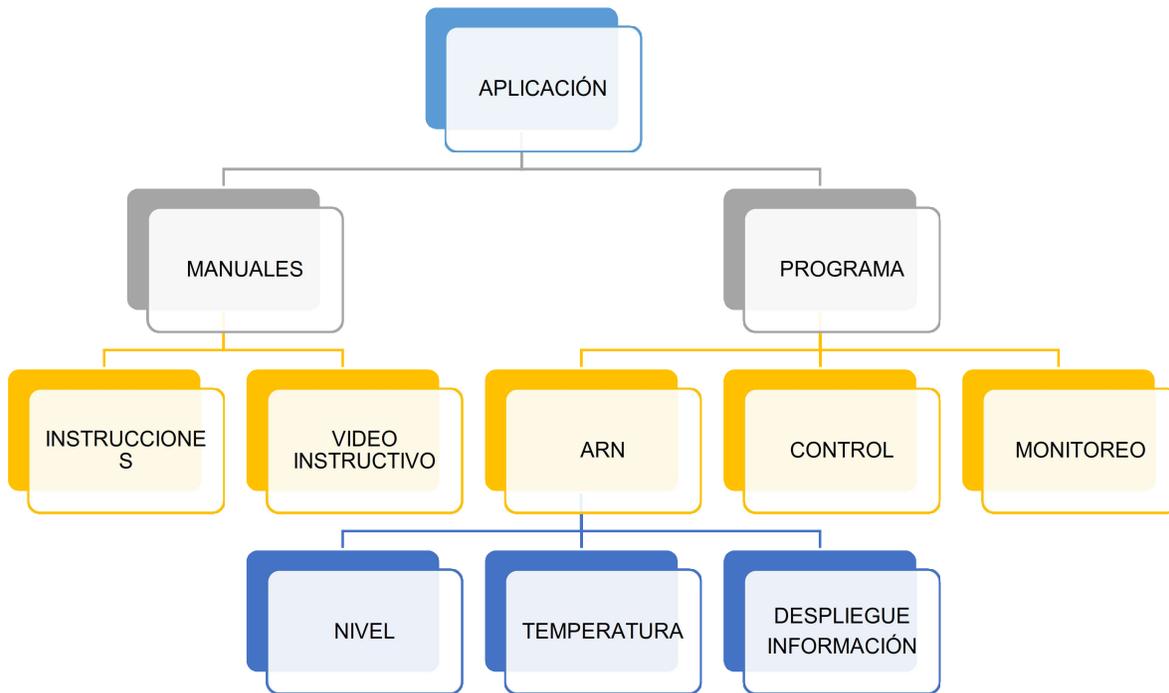


Figura 78 Descripción de aplicación.

Al iniciar la aplicación se muestra una imagen idéntica a la de la Figura 79, esta ventana de inicio cuenta con los siguientes botones: MANUALES Y PROGRAMA y se muestra una imagen ilustrativa de la estación.



Figura 79 Pantalla principal.

Al seleccionar la opción MANUALES, se visualiza 3 botones: INSTRUCCIONES, VIDEO INSTRUCTIVO TIA PORTAL, MENU como se puede apreciar en la Figura 80.



Figura 80 Escena de manuales.

Al seleccionar la opción INSTRUCCIONES, se muestra una escena en donde se describe la información sobre las medidas previas de verificación para el encendido de la estación. Al presionar la opción anterior, el programa regresa a la pantalla anterior, al presionar la opción siguiente, se direcciona a las respectivas instrucciones como se aprecia en la Figura 81 , estas instrucciones son detalladas en el manual de usuario ANEXO C.



Figura 81 Instrucciones.

Al seleccionar la opción PROGRAMA, se visualiza un menú con 4 botones: MONITOREO, CONTROL, ARN Y MENU como se identifica en la Figura 82.



Figura 82 Escena de programa.

Al seleccionar la opción MONITOREO, se muestra una imagen similar a la Figura 83 donde aparece el siguiente menú, que contiene 4 botones:

- **CONECTAR:** permite conocer si se ha establecido correctamente la conexión del dispositivo con el PLC
- **CONEXIÓN WIFI:** permite saber si el dispositivo tiene una conexión WIFI
- **MONITOREAR:** al seleccionar monitorear el dispositivo accede a los DBS internos del PLC, recibe los datos y los muestra en la pantalla. Los datos mostrados son los sensores analógicos, así como los digitales en los cuales se muestra si están activados o desactivados.
- **ATRÁS:** permite regresar a la pantalla anterior.



Figura 83 Escena de monitoreo.

- Al seleccionar la opción CONTROL, muestra la escena como la Figura 84 donde se puede activar todos los actuadores de la estación con solo presionar el botón específico
- El botón WI-FI permite al usuario de la aplicación saber si el teléfono está conectado a una red wifi.
- El botón CONECTAR permite saber si se ha establecido la conexión con el PLC



Figura 84 Escena de control.

El menú secundario muestra 4 botones NIVEL, TEMPERATURA Y DESPLIEGUE DE INFORMACIÓN Y MENU como la de la Figura 85.



Figura 85 Escena de ARN.

Al seleccionar la opción NIVEL y TEMPERATURA se procede a observar los pasos para activar el control respectivo mediante el uso de AR.

Al seleccionar la opción DESPLIEGUE DE INFORMACIÓN muestra en la pantalla todos los componentes de la estación, y al momento de presionar el botón de cada componente, muestra la información y características de cada componente como se puede identificar en la Figura 86.



Figura 86 Escena de Despliegue de información

5.5. Pruebas de verificación de aplicación.

Para realizar la verificación de la lectura de los datos se realizó mediante la interacción entre los datos de monitoreo que se pueden utilizar con el uso de la aplicación creada como se puede apreciar en el inciso a) de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** , donde se puede apreciar los datos de los sensores digitales en la parte izquierda en donde se identifica cual es cada uno tanto de presión, caudal, nivel, temperatura, y los sensores digitales a la derecha (nivel bajo, nivel alto, desbordamiento, flotador) , mientras en el inciso b) de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la ventana del DB4 creado dentro del software de TIA Portal para realizar la lectura, de los respectivos sensores en primera instancia se puede observar

los valores de los sensores analógicos y en segunda instancia es apreciable los valores de los digitales en la parte inferior.



a)

The screenshot shows the TIA Portal software interface displaying a data table for 'Bloque_1_DB_1'. The table has columns for 'Nombre', 'Tipo de datos', 'Offset', 'Valor de arranq...', 'Valor de observación', 'Remanen...', 'Visible en ...', and 'Valor de'. The data is as follows:

Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Valor de observación	Remanen...	Visible en ...	Valor de
algo5	Bool	0.5	false	FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
presion_in	Real	2.0	0.0	0.0008650519	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
caudal_in	Real	6.0	0.0	8.989619	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
nivel_in	Real	10.0	0.0	1.299952	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
temp_in	Real	14.0	0.0	17.53172	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Dato_Flujo	Int	18.0	0	4864	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Xmin	Real	20.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Ymax	Real	24.0	0.0	100.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Ymin	Real	28.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Xmax	Real	32.0	0.0	27744.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Output							
nivelb	Bool	36.0	false	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
nivela	Bool	36.1	false	FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
flotador	Bool	36.2	false	FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
desborda	Bool	36.3	false	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
caudal_out	Real	38.0	0.0	8.989619	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
presion_out	Real	42.0	0.0	0.0008650519	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
nivel_out	Real	46.0	0.0	1.299952	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Red circles highlight the 'Valor de observación' column for the first four rows (analog sensors) and the first four rows of the 'Output' section (digital sensors). Labels 'Sensores analógicos' and 'Sensores digitales' are placed next to these groups.

b)

Figura 87 a) Datos aplicación, b) Datos TIA Portal

5.6. Pruebas de la aplicación

Para ejecutar las pruebas de la aplicación se tomó en cuenta el proceso de Roger Pressman como se muestra en la Figura 88, el proceso consiste en las pruebas que se

deben realizar a las aplicaciones web. Este método ayuda a probar una aplicación en múltiples aspectos como el contenido, la estructura, la funcionalidad, la usabilidad, navegación, compatibilidad, desempeño y seguridad. En la siguiente imagen muestra todos los aspectos mencionados: (Pressman, 2012)

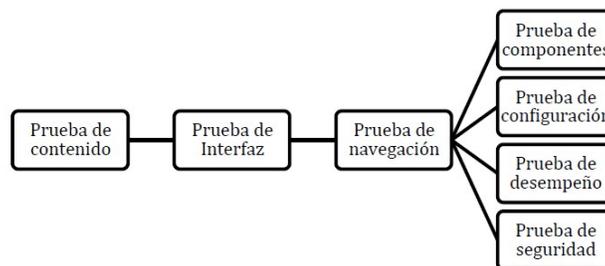


Figura 88 Diagrama de pruebas de aplicación.

Fuente: (Pressman, 2012)

5.7. Análisis e interpretación de resultados encuesta

Para obtener resultados de las pruebas se efectuó un total de 20 encuestas que fueron aplicadas en alumnos y egresados de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga de la carrera Ingeniería Mecatrónica, entre los cuales el 80% de los encuestados son alumnos de octavo nivel (16) y un 20% son egresados (4). Se realizó un análisis de la investigación de tipo descriptivo, es decir se realiza un análisis de cada una de las preguntas abiertas y cerradas, donde fue necesario que los estudiantes primero realicen la manipulación de la aplicación como se puede observar en la Figura 89.



Figura 89 Uso de la apk

5.7.1. Resultados de la Encuesta

Pregunta 1: ¿Cuál es la calificación que debe tener el diseño de la aplicación?

Tabla 19

Calificación del diseño de la aplicación

Respuesta	Personas
Excelente	13
Bueno	6
Normal	1
Malo	0



Figura 90 Calificación del diseño de la aplicación.

La Figura 90, permite observar la aceptación que recibe la aplicación desarrollada con respecto al diseño, logrando un 65% excelente y un 30% bueno, demostrando que tiene un 95 % de aceptación positiva y un 5% de aceptación neutra, pero considerando que no hay valores que sean negativos, demostrando de esta manera que las interfaces

desarrolladas son amigables para el usuario gracias a un diseño basado en características similares a juegos, tanto en la parte de menús y tutoriales.

Pregunta 2: ¿Qué tan difícil fue usar la aplicación?

Tabla 20

Facilidad de uso

Respuesta	Personas
Difícil	0
Normal	11
Fácil	9

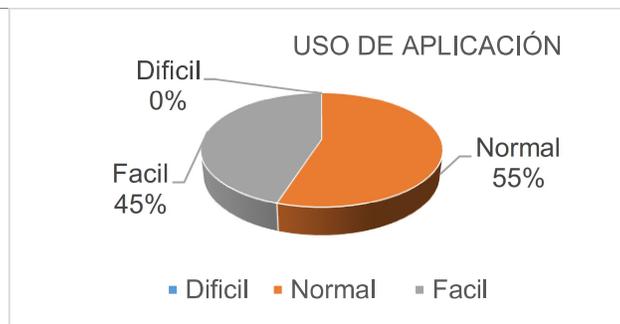


Figura 91 Facilidad de uso

La Figura 91, muestra los resultados de la encuesta con relación a la parte de usabilidad obteniendo; un 55% normal, 45% fácil y 0% difícil, por lo tanto, mediante estos datos se puede observar que se obtiene una usabilidad alta de la aplicación, debido a que se puede usar de una manera adecuada todas las funcionalidades tanto de monitoreo, control, y la realidad aumentada realizadas dentro de la misma.

Pregunta 3: ¿Cómo califica Ud. la información que proporciona la App?

Tabla 21

Información de la App

Respuesta	Personas
Excelente	11
Bueno	7
Normal	2

Malo	0
------	---



Figura 92 Información de la Apk.

La Figura 92, da a conocer los resultados obtenidos con respecto a la tercera pregunta en donde se enfoca en obtener toda la información con respecto al contenido mostrado en la aplicación estos fueron: 55% Buena, 40% excelente y un 6% normal. Mediante estos datos se puede observar que la información que se le presenta al usuario si es de calidad y sobre todo ayuda a mejorar la experiencia del desarrollo de la aplicación.

Pregunta 4 y 5:

Pregunta 4: Realidad Aumentada. Califique su Experiencia con la guía con AR.

Pregunta 5: Calidad de información, manuales o vídeos.

Tabla 22

Realidad Aumentada, calidad de información

Respuestas	Personas Pregunta 4	Personas Pregunta 5
Bastante útil	5	7
Muy útil	10	9
Útil	5	4
Poco útil	0	0
Nada útil	0	0

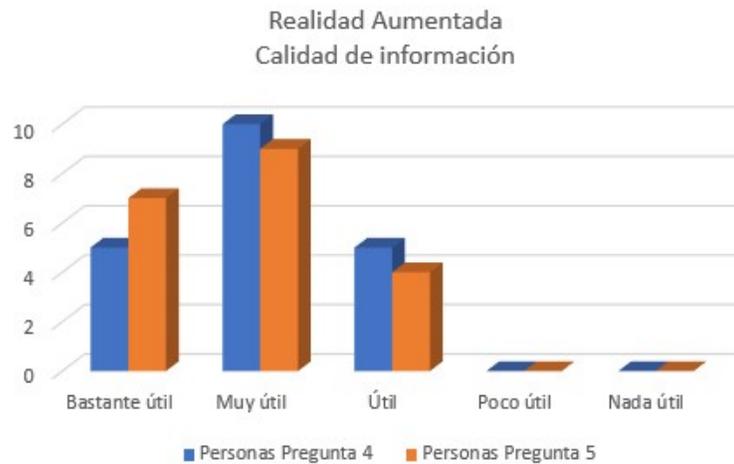


Figura 93 Realidad Aumentada, calidad de información

La Figura 93 muestra los resultados de la pregunta 4 y 5, en donde la pregunta 4 está enfocada a valorar la experiencia de Realidad Aumentada gracias a las 3 opciones disponibles con esta tecnología: Nivel, Temperatura y control. Los resultados son: 25% Bastante útil, 50% muy útil, 25% Útil, 0% Nada útil. Datos que evidencian que la realidad aumentada ha tenido una aceptación de utilidad del 100%, mientras que la pregunta 5 está enfocada a valorar todos los archivos multimedia que se ha colocado dentro de la aplicación como es la información, manual y videos colocados dentro de la aplicación los cuales mejoraron la experiencia como se muestran los resultados obteniendo un 35% Bastante útil, 45% muy útil, y 20% útil que representa el 100% de los objetos multimedia utilizados dentro de la aplicación y no se presentan respuestas negativas debido a que representa el 0%.

Pregunta 6 y 7:

Pregunta 6: ¿Cree usted que los componentes de la aplicación son interactivos a la hora de desarrollar una práctica de laboratorio?

Pregunta 7: ¿La aplicación le facilitó el desarrollo de prácticas de control de nivel y temperatura de la CWS MPS?

Tabla 23

Interactividad de prácticas.

	Pregunta 4	Pregunta 5
Respuesta	Personas	Personas
SI	19	18
NO	1	2



Figura 94 Interactividad de prácticas.

La Figura 94, muestra los resultados de la pregunta 6 y 7 , en donde la 6 está enfocada a valorar la experiencia de los componentes de la aplicación en la interactividad al momento de ayudar en al momento de desarrollar una práctica de laboratorio con respecto a la estación de compacto MPS, en donde el 95% de las personas manifestaron que si es bueno y el 5% no, mientras que la pregunta 7 está enfocada a la mejora del desarrollo de la práctica de laboratorio de control de nivel y temperatura desarrollada en donde se muestra que mediante el uso de la realidad

aumentada y el despliegue de información se puede apreciar un 90% de aceptación y un 10 % rechazo por parte de los usuarios.

¿Qué otras funcionalidades le gustaría que tenga la App?

Tabla 24

Otras funcionalidades

Sugerencias:	
Botón de salir y paro de emergencia.	
Restringir el tráfico de usuarios.	
Informar diagramas P&ID y planos de conexiones.	
Aumentar componentes en 3D e información al ejecutar AR.	CONTINÚA 
Implementar base de datos e históricos.	
Control desde la pantalla del celular y KTP 600.	

Mediante la tabla 26, se puede identificar las respuestas más frecuentes en cuanto a las sugerencias que han provisto los usuarios encuestados, las cuales son la implementación de botones salir y paro de emergencia, verificar y restringir el tráfico de usuarios, aumentar diagramas P&ID y planos de conexiones, así como también contenido en 3D, implementación de base de datos o históricos previstos y poder controlar por parte del celular y también de la pantalla KTP 600.

Gracias, eso fue todo :) ¿Te pareció divertida esta aplicación?

Tabla 25

Satisfacción de aplicación

Respuesta	Personas
SI	20

A todas las personas les ha parecido interesante y divertida la aplicación con el fin de establecer satisfacción por parte de los usuarios.

Smartphones utilizados por las personas encuestadas:

- Samsung Galaxy S2, S5, S5mini, J5, J7.
- Huawei P10 lite, Smart.
- Sony M4, Z3

Discusión de Resultados

Al finalizar en análisis de los datos proporcionados por parte de las encuestados, los resultados esperados planteados al inicio del proyecto se observan que son resultados favorables, de cierto modo se puede ratificar que los resultados son casi correspondientes al 100% favorables debido a que los factores negativos evaluados que se recibió fueron nulos. Teniendo en cuenta que se obtuvo una adecuada aceptación por parte del usuario de la aplicación, demostrando que ayuda al aprendizaje y la realización de prácticas de laboratorio de la estación de trabajo compacto MPS y que mediante mejoras se podría manejar e implementar sistemas similares para poder utilizar otro tipo de equipos dentro de laboratorio o generar una robustez mayor con la integración de más opciones.

5.7.2. Pruebas de usuario**a. Pruebas de Interfaz**

Enlaces: Cada uno de los botones se dirige a la escena que corresponde

Ventanas Dinámicas: la aplicación contiene ventanas que son interactivas ya que muestran un escenario de un planeta, llamativo para el usuario.

b. Pruebas de facilidad de uso

En este tipo de pruebas se consideraron:

Despliegue: La aplicación usa el máximo de la resolución de la pantalla del dispositivo móvil en el que se encuentra.

Interacción: la aplicación contiene Menús, botones que son interactivos y estéticos

Usabilidad: la aplicación es muy sencilla e intuitiva ya que contiene instrucciones y botones que ayudan al usuario a familiarizarse con la aplicación.

5.7.3. Prueba de componentes

a. Prueba de configuración

Se ha generado un archivo ejecutable de la aplicación para cualquier dispositivo que tenga instalado el sistema operativo Android.

b. Prueba de desempeño

Las pruebas realizadas fueron hechas en diferentes dispositivos Android, con diferente procesador, distintas capacidades de hardware, diferentes resoluciones y diferentes versiones de Android y en todas ellas se ha mantenido un nivel de 25 FPS (Frames por segundo)

5.8. Uso de aplicación en diferentes asignaturas.

Las asignaturas que involucran el desarrollo y uso de esta aplicación se detallan en la Tabla 26 , la misma que contiene tantas asignaturas de la antigua malla curricular y la nueva.

Tabla 26

Asignaturas de uso de apk.

N°	Asignatura	Descripción
----	------------	-------------

1	Instrumentación Aplicada a Mecatrónica	Manejo y acondicionamiento de sensores, conexión, tipos y uso.
2	Introducción a Sistemas ciber-físicos	Incursión en conceptos generales de sistema ciber-físico, así como sus componentes.
3	PLC y Automatización	Programación, control, acondicionamiento de señales para el manejo de variables.
4	Sistemas de control	Sintonización de controladores PID.
5	Programación II	Programación orientada a objetos.
6	Dibujo Asistido por Computador	Diseño de objetos en 3D, animación.
7	Sistemas Operativos y redes	Creación de red y configuraciones de router.

Los estudiantes de la carrera de ingeniería mecatrónica pueden tomar este proyecto de investigación para familiarizarse con todas materias propuestas en la Tabla 26, con el fin de estudiarlas individualmente o en conjunto.

5.9. Validación de la hipótesis

La hipótesis planteada en el proyecto es:

¿El Sistema Ciber-físico con realidad aumentada facilitará el desarrollo de prácticas de la estación de trabajo compacta MPS mediante el monitoreo y despliegue virtual de información en el Laboratorio de Mecatrónica?

Para realizar la validación de la hipótesis se usa la prueba de asociación basada en la distribución Chi Cuadrado, para realizar la prueba se establece la hipótesis alternativa y la hipótesis nula.

- **Hipótesis nula (Ho):** El Sistema Ciber-físico con realidad aumentada no facilitará el desarrollo de prácticas de la estación de trabajo compacta MPS mediante el monitoreo y despliegue virtual de información en el Laboratorio de Mecatrónica

- **Hipótesis alternativa (Hi):** El Sistema Ciber-físico con realidad aumentada facilitará el desarrollo de prácticas de la estación de trabajo compacta MPS mediante el monitoreo y despliegue virtual de información en el Laboratorio de Mecatrónica

Es necesario proceder a utilizar el método del coeficiente chi cuadrado, para calcular el valor del chi cuadrado se procede a utilizar la Ec 6, que según (San Martín, 2011).

$$\lambda^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad \text{Ec 6}$$

Dónde:

λ^2 : Chi cuadrado.

O_i : Es la frecuencia absoluta observada o empírica.

E_i : Es la frecuencia esperada.

Nivel de Confianza: 95%

En la Tabla 27 se describen las cinco pruebas realizadas cada una con 15 repeticiones, estas pruebas son del ciber-físico que cuenta con los subsistemas de monitoreo y control, mientras que el sistema de realidad aumentada cuenta con guía de nivel, temperatura y control con ARN.

Tabla 27

Pruebas de funcionamiento.

N°	SISTEMAS	SUBSISTEMAS	FUNCIONAL	NO FUNCIONAL	Cant. Pruebas
1	SISTEMA	MONITOREO	15	0	15
2	CIBER-FISICO	CONTROL	15	0	15
3	REALIDAD	NIVEL	13	2	15
4	AUMENTADA	TEMPERATURA	10	5	15

5	CONTROL ARN	11	4	15
		64	11	75

Para obtener las frecuencias esperadas de si las pruebas son funcionales es necesario recurrir al número de repeticiones realizadas, la sumatoria de las pruebas funcionales y el número total de las pruebas realizadas como se muestra en la Ec 7.

$$Freq. Esperada. Funcional = Repeticiones * \frac{\sum Funcional}{\sum \#Pruebas} \quad Ec 7$$

$$Freq. Esperada. SI = 12,8$$

Para la frecuencia del no funcional se usa la Ec 8), tomando en cuenta que hay que cambiar la sumatoria de funcionales con la de no funcionales.

$$Freq. Esperada. NoFuncional = Repeticiones * \frac{\sum NoFuncional}{\sum \#Pruebas} \quad Ec 8$$

$$Freq. Esperada. NO = 2,2$$

En la Tabla 28, se puede observar la toma de datos de la frecuencia absoluta (O) y de la frecuencia esperada (E) y los valores necesarios para calcular el valor del chí cuadrado con respecto a cada una de las pruebas realizadas.

Tabla 28
Cálculo de Chi-cuadrado

Condición de prueba	O	E	(O-E)	(O-E) ²	(O-E) ² / E
Funciona P1	15	12,8	2,2	4,84	0,378125
Funciona P2	15	12,8	2,2	4,84	0,378125
Funciona P3	13	12,8	0,2	0,04	0,003125
Funciona P4	10	12,8	-2,8	7,84	0,6125
Funciona P5	11	12,8	-1,8	3,24	0,253125
No Funciona P1	0	2,2	-2,2	4,84	2,2
No Funciona P2	0	2,2	-2,2	4,84	2,2
No Funciona P3	2	2,2	-0,2	0,04	0,018181818
No Funciona P4	5	2,2	2,8	7,84	3,563636364

No Funciona P5	4	2,2	1,8	3,24	1,472727273
TOTAL					11,07954545

Para la validación de la hipótesis también es necesario conocer los grados de libertad según la Ec 9.

$$(\# \text{ de pruebas} - 1) * (\# \text{ de opciones} - 1) \quad \text{Ec 9}$$

$$(5 - 1) * (2 - 1) = 4$$

Posteriormente de obtener los grados de libertad , hay que recurrir a la tabla del ANEXO D (Tabla de distribución del chi-cuadrado) en la fila 4 y en la columna de valor “p” de (0,05) debido a que se maneja el 95% de confianza, se obtiene el valor tabulado de (7,7794), al realizar la comparación con el calculado (11,0795), se puede determinar que el último valor es mayor al que se obtiene en la tabla de distribución por lo que se rechaza a la hipótesis nula y se procede a aceptar la hipótesis H1 como válida con un grado de confiabilidad superior al 95%.

5.10. Análisis económico

Una vez finalizado cada una de las etapas de diseño, implementación y pruebas de funcionamiento se debe mostrar el valor económico que se utilizó para el desarrollo del proyecto de investigación. Se debe considerar todos los costos que se realizó para implementar este proyecto, en la Tabla 29, se muestra todos los componentes que se utilizaron para el mantenimiento mecánico, eléctrico y de comunicación.

Tabla 29

Costo del proyecto subtotal 1

Descripción	Valor total
Software libre Android Studio	-

Software libre Unity+ Vuforia de desarrollo	-
Router	25
Canaletas	7
Material Eléctrico (cables, borneras)	5
Agua Destilada	15
Cable de comunicación Ethernet	5
Material de limpieza	5
Sub-total1	62

En la

Tabla **30** se muestran los dispositivos utilizados para el desarrollo del software que integra el sistema ciber-físico con la realidad aumentada, teniendo en cuenta que el celular y el computador no se deja en la institución.

Tabla 30
Costo del proyecto subtotal 2

Descripción	Valor total
Computador Toshiba i7 6ta generación.	1000
Celular Sony Z5	300
Sub-total2	1300

El costo total del proyecto correspondiente a la suma de los Sub-totales de la Tabla 29 y la

Tabla **30** asciende a \$1362.

En el desarrollo del proyecto de titulación se invirtieron un total de 400 horas de investigación y 500 horas dedicadas a la programación, teniendo en cuenta que el sueldo de un ingeniero es de aproximadamente \$1200 y en el lapso de 160 se llegó a determinar que cada hora de trabajo equivale a \$7, por lo tanto, se obtiene que el dinero invertido asciende a \$6300.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se diseñó e implementó un sistema ciber-físico con realidad aumentada para facilitar el desarrollo de prácticas de la estación de trabajo compacta MPS mediante el monitoreo y despliegue virtual de información en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
- El estado del arte permitió obtener información de un sistema ciber-físico el mismo que resulta de la integración de computación, redes y procesos físicos, mientras que la realidad aumentada, permite combinar el mundo real, en ese caso la estación de trabajo MPS, con información virtual como objetos 3D, videos, textos y animaciones sobre el desarrollo de una guía de desarrollo de prácticas de control de nivel y temperatura.
- Para la comunicación del sistema ciber-físico se eligió el router Huawei CNT 2017 de velocidad WiFi de 300 Mbps a 2,4 GHz, en el cual se realizaron las configuraciones para establecerse en una misma red tanto el PLC como los dispositivos, los mismos que pueden conectarse hasta unos 20m a la redonda.
- El sistema ciber-físico está compuesto de dos partes, monitoreo y control, el monitoreo maneja cuatro sensores analógicos (presión, nivel, temperatura, caudal) y cuatro digitales (nivel alto, nivel bajo, desbordamiento, flotador) mientras que

para el control se maneja cuatro actuadores (bomba, calentador, válvula de bola y válvula proporcional).

- Fue necesaria la utilización de la estación compacta MPS porque cuenta con varios procesos e involucra diferentes sensores y actuadores, por ende, se aproxima de mejor manera a poder manejar un entorno industrial.
- En la parte de la creación del sistema ciber-físico con realidad aumentada, se utilizaron diferente software como Android Studio y las librerías de Moka7 para la comunicación, el TIA Portal para la programación de la estación, Blender para el diseño de objetos 3D y Unity para la integración del contenido desarrollado por todos los softwares además la creación de información virtual, realidad aumentada (Vuforia) y la generación de la aplicación móvil.
- La aplicación móvil que contiene el sistema ciber-físico con realidad aumentada tiene compatibilidad con dispositivos Android desde la versión 4.1 hasta la actual, sin importar el tamaño de la pantalla o la marca. Pero hay que considerar que la velocidad de la aplicación depende del procesador del celular.
- Se realizaron pruebas de funcionamiento de la aplicación móvil mediante el principio de Roger Pressman, evaluando de esta manera aspectos como el contenido, la estructura, la funcionalidad, usabilidad, compatibilidad y desempeño.
- Como resultado de las encuestas efectuadas a 20 estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica se pudo verificar que facilitó el desarrollo de prácticas tanto de nivel como de temperatura de la estación de trabajo compacta MPS mediante

el monitoreo, control y el despliegue virtual de información que se le implemento en el sistema ciber-físico con realidad aumentada.

- La aplicación contempla una comunicación entre un software libre como es Android Studio y privativos como son TIA Portal, Unity (Vuforia), con la ayuda de las librerías Moka7 que contiene métodos internos de comunicación S7.
- Las constantes del control PID que dieron una adecuada sintonización de la planta como tal fueron obtenidas mediante el uso del método empírico o tanteo obteniendo las siguientes constantes: $P=395$, $T_i=3$, $T_d=1$.
- El sistema ciber-físico con realidad aumentada permite tener una buena experiencia de uso, analizar, captar, incursionar y mejorar el modo de operación por parte de los futuros ingenieros que se forman en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Este sistema ciber-físico con realidad aumentada se enfoca a la industria 4.0, debido que aparte de ocupar la electrónica y automatización que es parte de la industria 3.0, también maneja redes de comunicación entre dispositivos inteligentes como son los Smartphones y la información virtual que se puede implementar directamente en el mundo real.
- La aplicación móvil puede ser manejada por estudiantes de la Ingeniería Mecatrónica que se encuentren cursando cualquier nivel de la carrera y quieran familiarizarse con procesos industriales e integración de nuevas tecnologías.

6.2. Recomendaciones

- Para realizar un mantenimiento mecánico es importante trabajar con herramientas apropiadas principalmente para el ajuste de los elementos debido a que pueden presentarse daños de encuadre o a su vez generar mayor presión de la requerida terminando en daños o aislamientos.
- Para un mantenimiento en las partes eléctricas y electrónicas es importante partir desde los manuales, los cuales permiten identificar la estructura que poseen los módulos conexiones de alimentación y de comunicación, de esta manera evitando realizar conexiones que puedan afectar a la estación de trabajo compacto MPS.
- Para realizar el control de la estación de trabajo compacto es necesario tener en cuenta las direcciones que tiene dentro del controlador tanto para la parte de los sensores como de los actuadores debido a que se puede dañar los componentes de la parte física si se realiza una mala activación sin considerar lo que sucede.
- Si se desea realizar trabajos futuros es necesario realizar adecuadamente la utilización de los bloques de datos debido a que estos permiten trabajar los direccionamientos de entradas, salidas, memorias y todas las variables utilizadas dentro de la programación, de esta manera pudiendo leer o manipular de una forma directa mediante cualquier tipo de comunicación.
- Al momento de realizar programaciones que sean alternas a la utilizada en el desarrollo de este proyecto es necesario no manipular el main, funciones o bloques de datos, sino es recomendable realizar la creación de nuevas funcionalidades, si

se trabaja con el mismo programa, pero si se utiliza otro programa no habría problema, pero no entraría en funcionamiento el sistema ciber-físico.

- Al momento de realizar la utilización de un dispositivo que tenga la aplicación verificar que al momento de conectarse a la red tenga una dirección diferente a la del PLC debido a que si tiene la misma no se va a poder realizar el monitoreo de ninguno de los datos.
- Cuando se trabaja con realidad aumentada dentro de Unity, es importante que para optimizar recursos se realice la desactivación de ARcamara por comandos en cada una de las escenas que no tengan nada de realidad aumentada.
- La implementación de la aplicación móvil con tecnología de realidad aumentada se llevó acabo de forma no oficial, es decir que la aplicación no se puede encontrar en Google Play Store debido a que la licencia del complemento de Vuforia utilizado para realidad aumentada fue solo para desarrollo y no comercial.

BIBLIOGRAFÍA

- Abud Figueroa, M. A. (2012). Modelo de Objetos de Aprendizaje co. *Revista Internacional de la Educación en Ingeniería*, 1-7. Recuperado el 10 de Septiembre de 2018, de <https://docplayer.es/11012292-Modelo-de-objetos-de-aprendizaje-con-realidad-aumentada.html>
- Academia-Android*. (15 de Agosto de 2016). Recuperado el 15 de Octubre de 2018, de <https://academiaandroid.com/android-studio-v1-caracteristicas-comparativa-eclipse/>
- Aguilar Galicia, H., Zarate Nava, M. R., Mendoza González, C. F., & Padilla Flore, J. M. (Diciembre de 2013). *Red Universitaria e Institución Benemérita de Jalisco*. Recuperado el 20 de Octubre de 2018, de <http://revistascientificas.udg.mx/index.php/REC/article/view/5175>
- Alava, N. (24 de Mayo de 2015). *ingeniería en software*. Recuperado el 25 de Octubre de 2018, de <https://ingenieriaensofwarenathalyalava.wordpress.com/2015/05/24/lenguaje-unificado-de-modelado/>
- Alfa, E. (21 de 03 de 2017). *EstudioAlfa*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2018, de <https://estudioalfa.com/top-herramientas-crear-apps-realidad-aumentada>
- Álvarez, C. (2015). Teoría frente a práctica educativa: algunos problemas y propuestas de solución. *Perfiles educativos*, 172-190.
- Appgamekit. (20 de Diciembre de 2018). *appgamekit*. Recuperado el 30 de Agosto de 2018, de <https://www.appgamekit.com/>

AppMoviles. (15 de Agosto de 2016). Recuperado el 20 de Octubre de 2018, de <http://appmoviles.net/que-es-el-app-inventor-para-que-sirve/>

Arce, L. J. (2011). *Desarrollo de videojuegos*. Universidad de Aconcagua., Mendoza. Recuperado el 02 de Septiembre de 2018, de http://bibliotecadigital.uda.edu.ar/objetos_digitales/256/tesis-3966-desarrollo.pdf

Arroyo, P. (20 de Octubre de 2015). *Cantabria TIC*. Recuperado el 05 de Septiembre de 2018, de Cantabria TIC: <http://www.cantabriatic.com/industria-4-0-sistemas-ciber-fisicos/>

Autodesk. (2019). *Autodesk*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2018, de <https://latinoamerica.autodesk.com/products/3ds-max/overview>

Baca Urbina, G. (2010). *Evaluación de proyectos*. McGraw Hill.

Bentes, C., Heitor, R., Zadrozny, B., & Garcia, A. C. (12 de 05 de 2016). *Researchgate*. Recuperado el 15 de Octubre de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/220283962_Sensor_data_analysis_for_equipment_monitoring

Blender Foundation. (2018). *Blender*. Recuperado el 29 de Agosto de 2018, de <https://www.blender.org/>

calendamaia. (s.f.). *Genbeta*. Recuperado el 19 de Octubre de 2018, de <https://www.genbeta.com/desarrollo/eclipse-ide>

Campos, C. (22 de Junio de 2018). Recuperado el 15 de Octubre de 2018, de https://www.tp-link.com/cl/products/details/cat-9_Archer-C8.html

Consejo de Educación Superior. (12 de Julio de 2017). *CONSEJO DE EDUCACIÓN SUPERIOR*. Recuperado el 15 de Agosto de 2018, de CONSEJO DE

EDUCACIÓN

SUPERIOR:

http://www.ces.gob.ec/index.php?option=com_sobipro&task=download.file&fid=231.5120&sid=741&Itemid=0

Cruz, A. (14 de Enero de 2014). *desarrollolibre*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2018, de desarrollolibre: <https://www.desarrollolibre.net/blog/android/realidad-aumentada-con-vuforia#.XA6Vk3DPzDc>

Developers. (25 de Abril de 2018). *Developers*. Recuperado el 24 de Agosto de 2018, de Developers: <https://developer.android.com/studio/intro/>

Ecured. (22 de Mayo de 2017). Recuperado el 19 de Septiembre de 2018, de https://www.ecured.cu/Eclipse,_entorno_de_desarrollo_integrado

Festo. (Diciembre de 2008). Recuperado el 02 de Septiembre de 2018, de <https://www.festo-didactic.com/us-en/products/courseware/process-automation/workbooks/mps-pa-compact-workstation-manual.htm?fbid=dXMuZW4uNTc5LjE3LjE4LjU4MS43NzE1>

Festo. (2018). Recuperado el 03 de Septiembre de 2018, de <http://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/process-automation/compact-workstation/mps-pa-compact-workstation-with-level,flow-rate,pressure-and-temperature-controlled-systems.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4xOC44ODIuNDM3Ng>

Foundry. (2018). *Foundry*. Recuperado el 02 de Septiembre de 2018, de <https://www.foundry.com/products/modo>

Gavilanez, M. (15 de Agosto de 2018). Recuperado el 12 de Septiembre de 2018, de <http://proyectoguappis.blogspot.com/2015/01/arloon-anatomy.html>

Godot Engine. (2018). *godotengine*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2018, de <https://godotengine.org/>

Golato, M. (6 de Septiembre de 2017). *catedras*. Recuperado el 5 de Noviembre de 2019, de https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol/wp-content/uploads/sites/101/2017/06/9_Sintonizaci%C3%B3n-de-controladores-industriales_2017.pdf

Helmich, J., & Kaufmann , H. (Diciembre de 2006). *Festo Didactic*. Recuperado el 29 de Agosto de 2018, de www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/leseprobe_548592_es.pdf

Hernandez, V. (05 de Mayo de 2017). *Euro-Residentes*. Recuperado el 04 de Septiembre de 2018, de <https://www.euroresidentes.com/tecnologia/internet-de-las-cosas/porque-es-importante-el-internet-de>

Ingeniería Mecatrónica. (2018). *mecatronica-el*. Recuperado el 15 de Agosto de 2018, de [mecatronica-el: http://mecatronica-el.espe.edu.ec/rediseno/malla-curricular-rediseno/](http://mecatronica-el.espe.edu.ec/rediseno/malla-curricular-rediseno/)

Londoño , A. (14 de Febrero de 2017). *Universidad Distrital Francisco José Caldas*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2018, de <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5415>

Martinez, C., & Carracedo, J. (2012). Realidad Aumentada: Una alternativa Metodologica en la educacion primaria Nicaraguense. *IEEE-RITA*, 1-10.

Mayor, G. (12 de Mayo de 2017). Recuperado el 05 de Septiembre de 2018, de <https://www.festo-didactic.com/es-es/noticias/estacion-de-control-de-procesos-pcs-compact-con-pantalla-tactil.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE2LjI1NDg>

- Milanes, J. (12 de Mayo de 2018). Recuperado el 28 de Agosto de 2018, de <https://unity3d.com/es/partners/microsoft/porting-guides>
- Murillo , F., & Díaz, D. (2017). *KnowledgeE*. Recuperado el 26 de Agosto de 2018, de <https://knepublishing.com/index.php/KnE-Engineering/article/view/1454/3512>
- Nardella, D. (18 de Abril de 2014). *snap7*. Recuperado el 29 de Agosto de 2018, de <http://snap7.sourceforge.net/>
- Navarrete, L., Álvarez Pozos , S. L., Flores Pérez , M., & Camelo Avedoy , V. (2017). Evaluación de la integración de realidad aumentada en un curso básico de laboratorio de mecánica. *Innovación docente y uso de las TIC en educación: CD-ROM*.
- Pan, z., Cheok, A. D., Yang, H., Zhu, J., & Shi, J. (2016). Virtual Reality and mixed reality for virtual learning environments. *Computers and graphics*, 20-28.
- Pillajo, C., & Sierra, J. E. (2016). Importancia del estudio del control para los sistemas Cyber-Físicos. *ERFG*, 1-8. Recuperado el 01 de 09 de 2018
- Pressman, R. (2012). Ingeniería del Software. En *Un enfoque práctico* (págs. 305-322). Mexico: Mc Graw Hill.
- Proaño, C. (02 de Agosto de 2017). Recuperado el 27 de Agosto de 2018, de <http://www.computerworld.es/tendencias/crece-la-importancia-de-internet-de-las-cosas-en-las-empresas>
- Revelo, J. (05 de Diciembre de 2017). Recuperado el 12 de Septiembre de 2018, de <http://www.hermosaprogramacion.com/2014/09/android-layouts-views/>
- Rivas, F. C. (2012). el uso de dispositivos moviles por niños. *Universidad catolica de Temuco*, 1-3. Recuperado el 03 de Septiembre de 2018

- Rodríguez, P. (01 de Mayo de 2018). *xataka*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2018, de <https://www.xataka.com/especiales/guia-basica-para-comprar-tu-nuevo-router-consejos-especificaciones-y-seleccion-de-modelos-para-todos-los-bolsillos>
- Ryl, S., & Carle, J. (2004). Energy-Efficient Area Monitoring for sensor Networks.
- Sandoval, A., & Badilla, M. (20 de Noviembre de 2017). *ResearchGate*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/322901131_Taller_Realidad_Aumentada
- Siemens. (24 de Septiembre de 2017). Recuperado el 04 de Septiembre de 2018, de <https://w3.siemens.com/mcms/human-machine-interface/en/visualization-software/scada/pages/default.aspx>
- Siemens. (16 de Febrero de 2017). Recuperado el 03 de Septiembre de 2018, de <https://www.siemens.com/mx/es/home/productos/automatizacion/industry-software/automation-software/tia-portal/software.html>
- Siemens. (13 de Junio de 2017). Recuperado el 09 de Septiembre de 2018, de <https://w3.siemens.com/mcms/automation-software/en/tia-portal-software/step7-tia-portal/step7-professional/Pages/default.aspx>
- Slant. (2019). *Slant*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2018, de <https://www.slant.co/options/1047/alternatives/~unity-alternatives>
- Snap7. (09 de Junio de 2015). *snap7*. Recuperado el 20 de Agosto de 2018, de <http://snap7.sourceforge.net/>
- Snap7 server*. (12 de Agosto de 2018). Recuperado el 15 de Septiembre de 2018, de http://snap7.sourceforge.net/snap7_server.html

- TIA PORTAL. (Diciembre de 2014). Recuperado el 10 de Octubre de 2018, de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/036/108210036/att_74030/v1/s71500_pid_control_function_manual_esES_es-ES.pdf
- Torre las Heras, J. (2016). *RUIdeRA (Repositorio Universitario Institucional de Recursos Abiertos)*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2018, de <http://hdl.handle.net/10578/10236>
- U. P.B. (24 de Mayo de 2017). *Adimenlehiakorra*. Recuperado el 24 de Agosto de 2018, de <http://www.adimenlehiakorra.eus/documents/29934/43025/CPS+Cyber-Physical+Systems.pdf/1651f25b-4767-4982-9267-e2d2ee41ed8f>
- Unity. (2018). *Unity*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2018, de Unity: <https://unity3d.com/es/unity>
- Unrealengine. (2019). *unrealengine*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2018, de unrealengine: <https://www.unrealengine.com/en-US/what-is-unreal-engine-4>
- Vazquez, A. (12 de Enero de 2018). Recuperado el 19 de Septiembre de 2018, de <https://docs.unity3d.com/es/current/Manual/android-BuildProcess.html>
- Villalonga, A. (2016). *Repositorio de Universidad de Matanzas*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2018, de Repositorio de Universidad de Matanzas: <http://monografias.umcc.cu/monos/2016/FCT/mo16174.pdf>
- Vuforia. (26 de Septiembre de 2018). *Vuforia*. Recuperado el 02 de Octubre de 2018, de Vuforia: <https://developer.vuforia.com>
- X.Basagain, Olabe, M., Espinosa, K., & Roueche, C. (2014). Realidad Aumentada en la Educación: una tecnología emergente. *ESIGELEC*, 1. Recuperado el 03 de Octubre de 2018

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue realizado por los señores: **Gualpa Yumi, David Antonio, y Proaño Gamboa, Oscar Dario.**

En la ciudad de Latacunga, a los 15 días del mes de enero del 2019.

Aprobado por.

Ing. Andrés Gordón

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Vicente Halle

DIRECTOR DE CARRERA



Dr. Rodrigo Vaca

SECRETARIO ACADÉMICO