



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO  
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**REALIDAD AUMENTADA DE LA ESTACIÓN CONVEYOR DEL MPS BAJO  
EL MODELO DE DIGITAL TWIN.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero en Electrónica y Automatización

AUTOR: José Carlos Tenorio Maisincho

TUTOR: Gustavo Javier Caiza Guanochanga

Quito-Ecuador

2022

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, José Carlos Tenorio Maisincho con documento de identificación N° 1752467389 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 16 de marzo del año 2022

Atentamente,



---

José Carlos Tenorio Maisincho

1752467389

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, José Carlos Tenorio Maisincho con documento de identificación No. 1752467389, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Realidad aumentada de la estación Conveyor del MPS bajo el modelo de digital twin”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica y Automatización, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 16 de marzo del año 2022

Atentamente,



---

José Carlos Tenorio Maisincho

1752467389

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Gustavo Javier Caiza Guanochanga con documento de identificación N° 1721192191, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: REALIDAD AUMENTADA DE LA ESTACIÓN CONVEYOR DEL MPS BAJO EL MODELO DE DIGITAL TWIN, realizado por José Carlos Tenorio Maisincho con documento de identificación N° 1752467389, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 16 de marzo del año 2022

Atentamente,



---

Ing. Gustavo Javier Caiza Guanochanga Mgs.  
1721192191

## **DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS**

Este Proyecto técnico va dedicado, primero a Dios que ha permitido llegar a culminar esta meta, proveyéndome de inteligencia, perseverancia y salud en todo momento.

A mis padres Jessica y Carlos quienes siempre están brindándome de su apoyo y gracias a su esfuerzo me han permitido cumplir con esta carrera profesional.

Finalmente, y no menos importantes a mis docentes y compañeros que desde que llegue el primer día a la Universidad Politécnica Salesiana me han impartido de sus conocimientos, sabiduría y su tiempo en esta formación profesional.

**José Carlos Tenorio Maisincho**



## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	9
ABSTRACT .....	10
I. INTRODUCCIÓN .....	11
II. ANTECEDENTES .....	11
Descripción del problema .....	11
Importancia y Alcances.....	12
III. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS.....	14
IV. MARCO TEÓRICO .....	14
Realidad Aumentada.....	14
DIGITAL TWIN.....	15
ESP-WROOM-32 .....	15
CONVEYOR FESTO.....	16
Blender.....	16
Unity.....	17
Vuforia Development.....	17
Arduino IDE.....	17
Visual Studio.....	18
Http Requests.....	18
Web Server.....	18
Wi-Fi Client.....	18
Directorio DNS.....	19
V. MARCO METODOLÓGICO .....	19
Diseño digital de la estación Conveyor.....	19
Target en Vuforia.....	20
Configuraciones en Unity.....	21
Montar el Target sobre el WORDSPACE de Unity.....	21
Montar el Modelado 3D de Blender sobre el WORDSPACE de Unity.....	22
Configuración de Realidad Aumentada el WORDSPACE de Unity.....	22
ESP32 WEB SERVER.....	23
Programación .....	24
Programación del ESP32 como WEB SERVER en Arduino IDE.....	24
Programación para tomar datos de los sensores del WEB SERVER en Visual Studio.....	25

Resultados.....	26
Análisis de conectividad.....	26
Tiempo de conectividad del ESP32 a la red local.....	28
VI.    CONCLUSIONES.....	30
VII.   RECOMENDACIONES.....	31
VIII.  REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
IX.    ANEXOS.....	34

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datasheet Modulo ESP32.....	16
Tabla 2 Datos técnicos de trabajo del Conveyor.....	16
Tabla 3 Muestras de tiempos de conectividad.....	28
Tabla 4 Tiempo de envío de datos de los sensores para Post en el Web Server y Get de Unity.....	29
Tabla 5 Tiempos de recorrido del palet en el modelo Digital y en la estación Conveyor.....	29

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diseño de modelado basado en Digital Twin.....	19
Figura 2 Modelado 3D de las partes del Conveyor en Blender.....	20
Figura 3 Diagrama de archivos ejecutables de Vuforia y Blender para uso de target en Unity.....	21
Figura 4 Diagrama de ejecución del archivo de modelado 3D en Unity.....	22
Figura 5 Diagrama de configuración en Unity para archivos de Realidad Aumentada.....	23
Figura 6 Diagrama de Servidor ESP32 con petición de cliente Unity.....	24
Figura 7 Diagrama de programación del Web Server ESP32 por medio del Arduino IDE.....	25
Figura 8 Diagrama de programación de Unity para tomar datos del Web Server ESP32.....	26
Figura 9 Gráfica de muestra de datos de consumo de datos.....	27
Figura 10 Estabilidad de datos mostrada por GlassWire.....	27



## **RESUMEN**

En la actualidad la implementación de modelos digitales constituidos en nueva maquinaria de fábrica en países subdesarrollados han generado competitividad para sistemas de producción en la industria, con beneficios para la gestión, supervisión, corrección y prevención de fallas con un ahorro de tiempo. Con el avance de nuevas tecnologías como el caso del modelo del gemelo digital elaborando múltiples funciones en equipos, módulos, estaciones que no vienen diseñadas de fábrica. En este proyecto se utilizó Realidad Aumentada bajo el modelo del Digital Twin del Conveyer de Festo para visualizar el proceso de manera digital, mediante comunicación a través del servicio de web generado por el módulo ESP32 con un posteo de datos de la posición del palet en función a las 4 estaciones del MPS. La verificación de los datos del modelo digital a través del Software Unity que se tomó del Web Server se lleva a cabo en tiempo real al igual que la estación del mundo real, cumpliendo con el Digital Twin.

**PALABRAS CLAVES-** Gemelo Digital, Realidad Aumentada, modulo ESP32, Servidor Web, Conveyer.

### **ABSTRACT**

Currently the implementation of digital models in new factory machinery in underdeveloped countries has generated competitiveness for production systems in the industry, with benefits for management, supervision, correction and prevention of failures with time savings. With the advancement of new technologies such as the case of the digital twin model developing multiple functions in equipment, modules, stations that are not factory designed. In this project we used Augmented Reality under the model of the Digital Twin of the Festo Conveyor to visualize the process in a digital way, by means of communication through the web service generated by the ESP32 module with a data posting of the position of the pallet according to the 4 stations of the MPS. The verification of the digital model data through the Unity Software that was taken from the Web Server is carried out in real time just like the real world station, complying with the Digital Twin.

**KEY WORDS-** Digital Twin, Augmented Reality, ESP32 module, Web Server, Conveyor.

## **I. INTRODUCCIÓN**

El modelo de Digital Twin es una mejora que se ha añadido en la industria 4.0, mediante realidad aumentada se obtendrá un modelo del Conveyor del MPS (Master Production Schedule) digital en conexión con la estación del mundo real. Este proyecto técnico estudia y aplica principalmente como establecer la conexión entre la parte física y el modelo digital. Mediante una tarjeta ESP32-WIFI instalada en la estación de transportación física, enviara los datos de los sensores de las diferentes estaciones por la cuales pasa un palet. Cada sensor mostrara si el palet ha llegado al punto indicado llevando sobre él una ficha o no, para posteriormente enviar los datos de cada sensor a través de la tarjeta ESP32 en conexión Wireless se comunicará directamente a la plataforma de Unity que permite trabajar con diseños en 2D y 3D y realizar el modelo de realidad aumentada de la estación Conveyor digital.

El modelo digital de la estación de transportación se realizará en la plataforma de Blender que permite realizar en un diseño digital similar al modelo físico estableciendo los movimientos del palet, que nos permitirá realizar las mismas acciones que realiza el mundo real y a la vez lo mismo que se realice en el modelo digital.

Los datos de los sensores se registrarán a través de un Web Server programado en la tarjeta ESP32 que envía los datos en tiempo real directamente, mientras que Unity será el cliente que tomará los datos para desarrollar el gemelo digital y su conexión.

## **II. ANTECEDENTES**

### **Descripción del problema**

El desarrollo tecnológico dentro de Latinoamérica tuvo un mayor auge dentro de los últimos años, debido a que la mayoría de la tecnología es proveniente de China en una alianza con América Latina y el Caribe (ALC) (*Las Relaciones Entre China Y Latinoamérica : Cooperación En Ciencia* , 2020), generando el Ecuador una cuota de mercado de importaciones provenientes de china de un (26.22%)(Clave, 2015), accediendo a nueva maquinaria digital pero con costos de importación elevados, esto hace que las instituciones y empresas se mantengan con la maquinaria desactualizada y en algunos casos descontinuada.

Los modelos de maquinaria de producción de versiones anteriores, en este caso de la estación MPS es el que en gestión del ciclo de vida del producto (PLM) llegara a una instancia de desgaste e incluso de su sustitución. (Investigate to innovate, 2017). La

falta de la digitalización industrial no permite un escalamiento flexible para los procesos de producción, permaneciendo en un estado de no evolución industrial, debido a que no se puede observar el comportamiento de la planta, en caso de que modifiquen los procesos y con ello las variables “Digitales” (Varas Chiquito et al., 2020), de lo antes mencionado es evidente la complejidad en el control (diseño de procesos digitales para obtener nuevos productos) de adquisición de datos en tiempo real, prevención y predicción de fallas en un entorno de visualización del proceso de manera virtual. En la mayoría de las empresas y universidades en el Ecuador poseen un déficit tecnológico al mantener solo la maquinaria estándar adquirida de parte de sus proveedores, dejando una brecha notoria en la posibilidad de adquirir nuevos equipos de propietario para estar a la vanguardia industrial, esto conlleva a gastos elevados para dichas instituciones (Madrid, 1377).

Se han diseñado en los últimos años la arquitectura de un modelo de gemelo digital, como es el caso del estudio de (Lin & Low, 2020), los cuales diseñan un sistema bajo el modelo del gemelo digital utilizando un sistema inalámbrico para transmitir una base de datos distribuida en el MES para atender las líneas de producción y adquisición, sin embargo, dicho proceso solo se dio en un diseño conceptual, además de solo manejar una base de datos que se almacena dentro de un Control de Supervisión y Adquisición de datos (SCADA) y simular el modelo del gemelo digital de forma analítica. (Lu et al., 2021), estos autores combinan diferentes capas de procesamiento para la adquisición de datos con un entorno de simulación ambiental de mapeo de datos, sin embargo, la adquisición de datos gradualmente tendrá inconvenientes debido a los factores de no tener un entorno controlado, no realiza una transmisión de datos inalámbrica e incluso el modelo del gemelo digital lo analiza a través de un multientorno.

### **Importancia y Alcances**

El uso del Gemelo digital se representa como una tecnología en base a la simulación y el análisis de procesos industriales, teniendo así una representación digital de los dispositivos y procesos que componen el sistema de producción, esto quiere decir que se tendrá una información directa de la planta, el histórico de los procesos operacionales y mantenimiento cuyo comportamiento se asemeja fielmente al del sistema real (Miklovic, 2017). Prácticamente el beneficio que tiene el modelo del gemelo digital es el de accionar sobre diferentes localizaciones para llevar a cabo auditorías específicas o realizar un seguimiento de recursos de la producción y crear escenarios de producción

alternativos para probar el ensamblaje de nuevos componentes de manera virtual detectando problemas de forma preventiva y predictiva. (I-SCOOP, 2017). Países de América del sur como Brasil han respaldado la adopción de MPS como un medio para aumentar la competitividad de la industria y permitiendo la identificación de nuevos desafíos de la investigación(Santos et al., 2012), lo que en la actualidad favorecido la expansión y desarrollo de los gemelos digitales hacia otros sectores han sido los avances y la mayor accesibilidad a otras tecnologías que benefician al uso de los gemelos digitales como es el Big Data, Cloud Computing y el internet de la cosas (IoT).(Varas Chiquito et al., 2020) Además la maquinaria puede adoptar y aplicar otro estado de su entorno. Junto con la capacidad de procesar y comunicar estos datos, permitiendo la creación de gemelos digitales(Haag & Anderl, 2018), para lo cual las empresas innovadoras representan, por su flexibilidad y capacidades organizacional y empresarial (Robalino-López et al., 2017). De tal manera que los modelos del gemelo digital se adaptan a todo tipo de empresa y sector educativo que manejen equipos tecnológicos digitales, ya que la enseñanza a manera de cátedra se está dejando atrás y la educación superior técnica universitaria busca la capacidad de interactuar en procesos intelectuales, diálogos científicos ampliados, desarrollo e innovación para la búsqueda de nuevas áreas de desarrollo en procesos de manufactura de productos y servicios(Investigaci, 2017), de tal manera que involucra un recurso de bajo-medio costo el de desarrollar el modelo del gemelo digital. Con un modelo de una planta industrial bajo Digital Twin se logra que se realice una gestión mediante la visualización de la adquisición de datos en tiempo real, la prevención, la predicción y la corrección de fallas en un entorno del proceso de manera virtual. (Varas Chiquito et al., 2020)

### **III. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS.**

Desarrollar el modelo de DIGITAL TWIN de la estación CONVEYOR del MPS para visualización de datos en tiempo real, mediante realidad aumentada.

Investigar sobre los procesos del DIGITAL TWIN mediante modelos de realidad aumentada.

Diseñar los procesos de realidad aumentada la estación MPS mediante programa informático multiplataforma.

Desarrollar un algoritmo para la gestión de los procesos de DIGITAL TWIN con servicios de CLOUD.

Establecer una comunicación entre red de sensores de la estación MPS y el modelo de la estación en DIGITAL TWIN por medio de una trama de datos.

Validar la funcionalidad de la gestión del proceso del DIGITAL TWIN a través de pruebas experimentales en un entorno controlado.

### **IV. MARCO TEÓRICO**

#### **Realidad Aumentada**

La realidad Aumentada (Augmented Reality AR) permite crear un entorno digital basado en un modelo real, dicha tecnología es capaz de generar interacciones entre el usuario con un entorno real aumentado procesado por un motor gráfico de ordenador. La realidad aumentada permite renderizar distintos escenarios de un modelo físico real, manteniendo la información de escalas, materiales de diseño, etc. Esta tecnología se aplica en distintas áreas de la industria para introducir a los operadores el modo de funcionamiento de máquinas antes de su manejo físico real. Los modelos en realidad aumentada se visualizan en gráficos 2D y 3D, permitiendo al usuario tener un modelo gráfico similar al modelo del mundo real. Los modelos en realidad aumentada permiten al usuario navegar sobre los entornos gráficos de tal manera los visualice sin necesidad de tener el modelo físico presente. (Basogain et al., 2010)

## DIGITAL TWIN

Modelo Gemelo Digital está formado por un conjunto físico y un conjunto digital de un objeto que comparten la misma información. Datos proporcionados simultáneamente con un modelo digital, para respaldar o validar un proceso que utiliza las mismas propiedades del objeto físico. El gemelo digital funciona combinando el sistema físico con el virtual, desarrollado por los ingenieros teniendo en cuenta todas las variables que componen la parte física dando como resultado un modelo digital en comunicación directa. Los datos capturados en el proceso incluyen el comportamiento, el rendimiento, la detección de errores en tiempo real y la evaluación del sistema, optimizando los recursos operativos sin detener la ejecución en el mundo real.(Haag & Anderl, 2018)

## ESP-WROOM-32

El ESP32 es un microcontrolador con altas especificaciones, utilizando un chip controlador SoC (System on Chip). El módulo integra dentro de placa electrónica un módulo WI-FI 802.11 b/g/n, integra también un Dual Bluetooth 4.2 como los principales paquetes integrados más utilizados. Dentro de las diferentes versiones que existen en el mercado principalmente se maneja dos núcleos de 240 MHz sincronizados con 4MB de memoria flash, cuenta 36 diferentes pines GPIO, 16 canales PWM, que abarcan los pines de entradas y salidas respectivamente para su uso. El ESP32 se han utilizado para el desarrollo de aplicaciones IOT a su operatividad y amplio soporte dentro de las plataformas de Windows, Linux, MacOS. Su compatibilidad con la plataforma de Arduino IDE permite trabajar en lenguajes de programación más intuitivos.(Babiuch et al., 2019)(Systems, 2019)

Hardware	Especificaciones
Interfaces de módulos.	SD Card, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, MOTOR PWM, I2S, IR, PULSE COUNTER, GPIO, CAPACITIVE SENSOR, ADC, DAC.
Sensor On-chip.	Hall sensor.
Cristal Integrado.	40 MHz cristal.
SPI flash integrado.	4 MB.
Tensión de funcionamiento/ Fuente de alimentación.	2.7 V ~ 3.6 V.
Corriente mínima entregada por fuente de	Average: 80 mA.

alimentación.	
Corriente mínima entregada por a fuente de alimentación.	500 mA.
Rango de temperatura de funcionamiento recomendada.	-40 °C ~ +85°C.
Empaquetado.	(18.00±0.10) mm x (25.50±0.10) mm x (3.10±0.10) mm.

*Tabla 1 Datasheet Modulo ESP32.*

Tabla tomada de (Systems, 2019).

### **CONVEYOR FESTO.**

El Conveyor está constituido por un accionamiento motorreductor de CC o a su vez por un accionamiento motorreductor de CA acoplado con un convertidor de frecuencia. El arranque de los motorreductores se encuentra controlado por un limitador de corriente. El control se viene dado por sensores ópticos de proximidad de fibra óptica en los extremos o laterales de la estructura. El Conveyor realiza el desacoplamiento de cada una de las estaciones, mantiene las piezas de trabajo dentro de las estaciones entre sí cumpliendo la secuencia de las estaciones del proceso posterior. (Ebel & Pany, 2006)

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
Presión de trabajo.	6 bar (600kPa)
Tensión de alimentación.	24 V DC, 230 V AC
Entradas Digitales.	Max. 8
Salidas Digitales.	Max. 8

*Tabla 2 Datos técnicos de trabajo del Conveyor.*

Tabla tomada de (Ebel & Pany, 2006).

### **Blender.**

Blender es un programa de versión ejecutable, su código fuente esta desarrollado en PHYTON. El software es ejecutado por su fácil interacción comúnmente se usa crear modelos en 2D y 3D. Maneja una interfaz de desarrollo intuitiva con múltiples accesos rápidos por medio de teclado y navegación del escenario con el cursor y botones del mouse. Dentro del renderizado de los modelos se puede exportar animaciones, texturas aplicadas para diseños industriales. Blender no maneja ningún costo por uso de su licencia y actualizaciones. En la actualidad su uso está completamente ligado a creación



de animaciones de video juegos, debido a que es un motor grafico que posibilita crear un sin número de mundos virtuales con una excelente definición y calidad. (Chung Pinzás, 2014)

### **Unity.**

Unity es una herramienta que no engloba únicamente motores para el renderizado de imágenes, de físicas de 2D/3D, de audio, de animaciones y otros motores, sino que engloba además herramientas de networking para multijugador, herramientas de navegación NavMesh para Inteligencia Artificial o soporte de Realidad Virtual. Su sistema permite un desarrollo sencillo y a la vez permite un desarrollo potente, permitiendo al desarrollador no solo crear video juegos sino también múltiples aplicaciones para varias plataformas, de tal manera que permite descargar componentes de creadores de Unity y descargas de actualizaciones constantes gratuitos y de paga. Unity es un programa de alto rendimiento lo cual mantiene altas prestaciones de hardware para su correcto funcionamiento.(Hernández Paez et al., 2018)

### **Vuforia Development.**

Vuforia es una plataforma web utilizada para proyectos de realidad aumentada. Este software permite que mediante una imagen en 2D o 3D sea transformada a target mediante visión computarizada, para ser un objetivo de rastreo y localización dentro de un espacio tridimensional. El target creado por el programa permite que el objeto que se proyecta en realidad aumentada se ajuste virtualmente en la posición asignada, todo esto generado en tiempo real. De acuerdo a los movimientos que el target adopte mediante realidad aumentada en conjunto con el modelo digital se ajustara a la vista del usuario. La plataforma web almacena dentro de sus registros los targets que se realice.(B, 2018)

### **Arduino IDE.**

Este software es la plataforma lanzada por Arduino.cc como un entorno de desarrollo integrado. La función principal del programa es crear, editar y compilar un código de programación para posteriormente cargar el código de programación dentro de un dispositivo de la misma compañía. Los paquetes instalados externamente facilitan su compatibilidad con módulos independientes de Arduino que soporten códigos abiertos.

La descarga de este software es gratuita disponible para para los sistemas operativos como Linux, Windows, MacOS.(Fezari & Dahoud, 2018)

### **Visual Studio.**

El software de Visual Studio comprende una interfaz IDE de desarrollador de .NET y C++ para sistemas operativos de Windows, MacOS, Linux. Utiliza una amplia matriz de herramientas que permite. Visual Studio permite realizar una complejidad muy alta de trabajos con una IDE de 64 bits en diagnóstico de problemas con visualizaciones de manera asíncrona y analizando de manera automática. Las herramientas del software de Visual Studio IntelliCode genera una finalización de manera automática del código de programación comprendiendo el nombre de las variables, funciones a ejecutar y atajos.(Abbas et al., 2017)

### **Http Requests.**

El protocolo de transferencia de hipertexto para solicitudes es la petición a la comunicación dentro de la web para servidores. Http Requests toma los datos relevantes que el cliente necesite dentro de la base de registro, interpretando dentro del servidor web como una respuesta visualizada en una página web, a través de la URL del destino identifica la solicitud determinada por la IP del web server. (Althubiti et al., 2017)

### **Web Server.**

Un servidor web es un dispositivo de altas especificaciones que presta el servicio de emitir la información pedida por sus clientes. El web server es un complemento del servidor el cual se encarga de almacenar información, mediante el protocolo de transferencia de hipertexto HTTP se muestran los datos en una página web sean estas imágenes, texto, etc. Los servicios que prestan los servidores web van en tiempo real, teniendo la capacidad de transmitir datos siempre que el server se encuentre encendido.(Rhodes & Goerzen, 2014)

### **Wi-Fi Client.**

La tecnología Wi-Fi permite crear una red local inalámbrica entre varios dispositivos que se encuentre de manera cercana. De los modos de configuración de los puntos de acceso del Wi-Fi se genera el Modo Wireless Client (Wi-Fi Client) que mediante un

punto de acceso AP se comporte a manera de cliente para establecer una línea inalámbrica del punto de acceso de varios módulos de diferentes fabricantes.(Gentry & Pennarun, 2016)

### **Directorio DNS.**

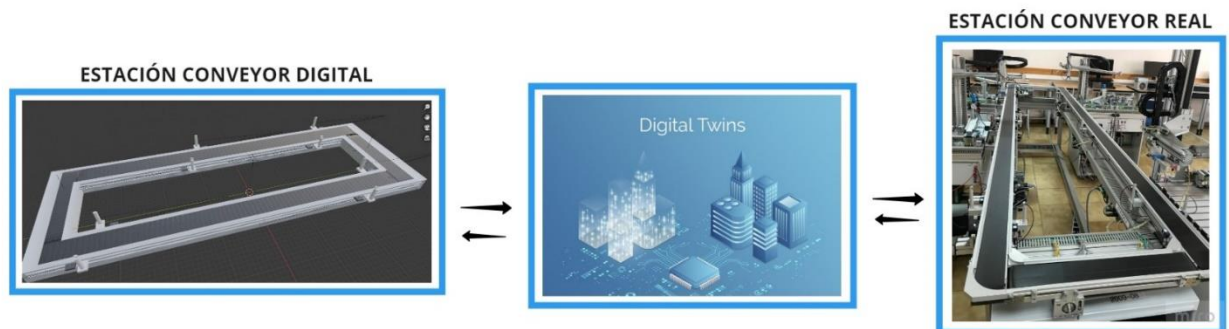
El sistema de nombres de dominio (DNS) permite localizar módulos y servicios de internet de manera jerárquica de una base de datos administrando el espacio de nombres de dominio. El directorio DNS compara varios servicios de la base de datos facilitando su gestión descentralizada para la información de los dominios.(B, 2018)

## **V. MARCO METODOLÓGICO**

### **Diseño digital de la estación Conveyor.**

Para el desarrollo de esta tesis previamente hecha la investigación de los diferentes programas informáticos de diseño y renderización de imágenes, se utilizó el software de Blender para todo el diseño de la estación de transportación del MPS.

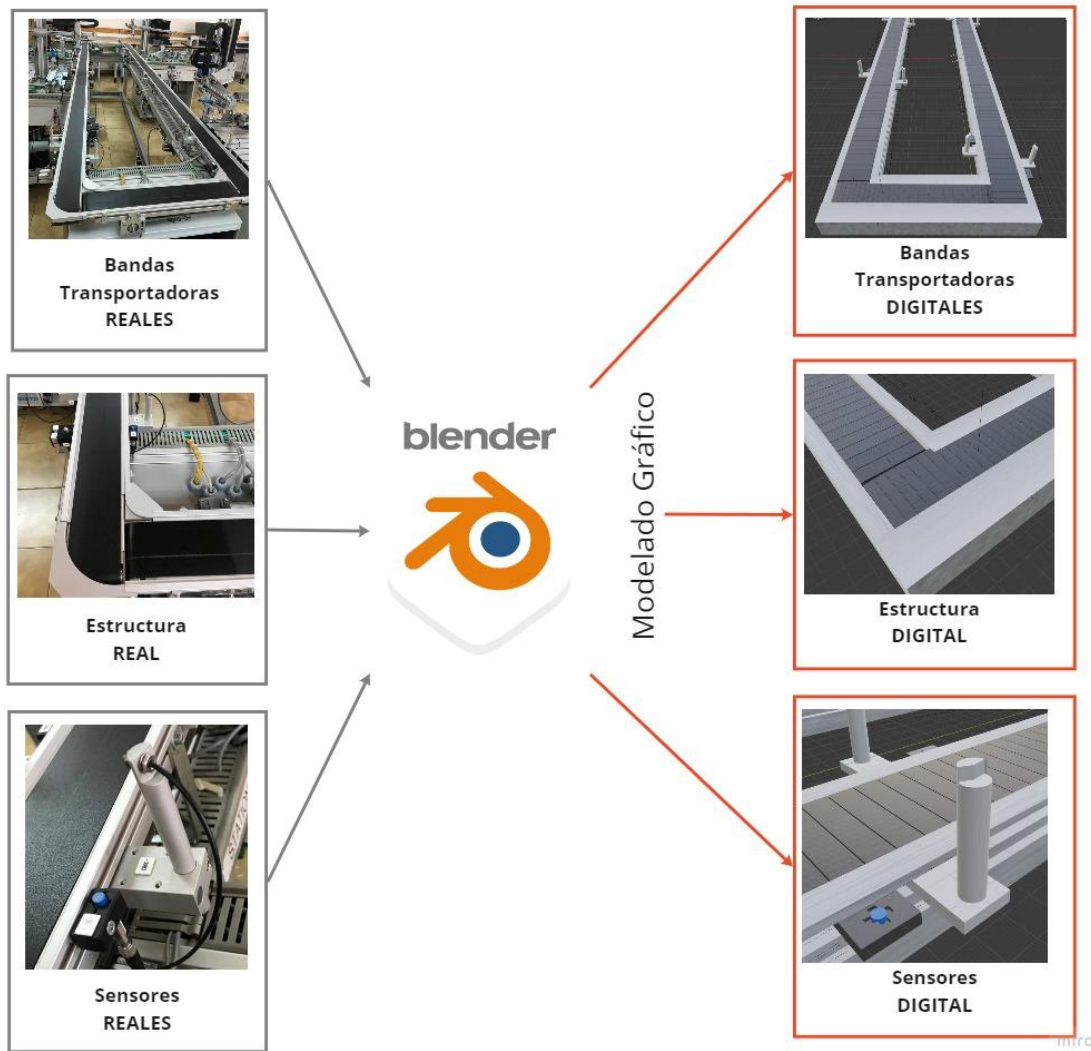
Basándose en el modelo digitalizado del Conveyor según sus respectivas mediciones, especificaciones tal como se encuentra en el mundo real.



*Figura 1 Diseño de modelado basado en Digital Twin.*

Figura elaborada por el autor.

Para establecer el modelo del Digital Twin se recreó el Conveyor del mundo real al mundo virtual mediante el software de Blender diseñando las bandas transportadoras, la estructura y los sensores.



*Figura 2 Modelado 3D de las partes del Conveyor en Blender.*

Figura elaborada por el autor.

### **Target en Vuforia**

Para el reconocimiento de la Realidad Aumentada en Unity se creó un Target con la imagen en la que se proyectara el Conveyor creado previamente en Blender sobre los ejes tridimensionales X, Y, Z del sistema de coordenadas de Unity.

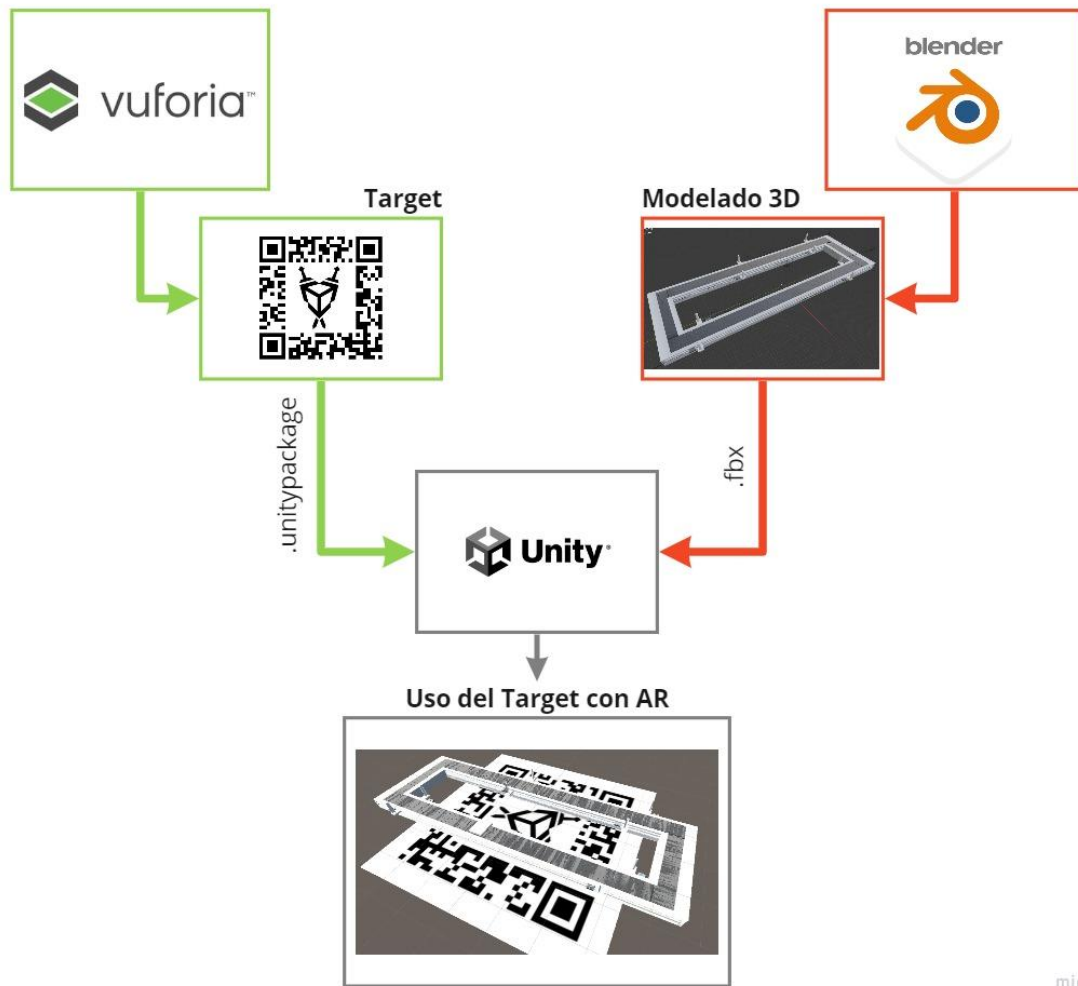


Figura 3 Diagrama de archivos ejecutables de Vuforia y Blender para uso de target en Unity.

Figura elaborada por el autor.

### Configuraciones en Unity.

#### Montar el Target sobre el WORDSPACE de Unity.

Seleccionado el Target con el que se va a trabajar en Unity se generó de Vuforia un archivo que en compatibilidad con Unity con extensión ( .unitypackage) permitirá importar el componente sobre el WORDSPACE, además del archivo generado por Vuforia se necesitó de una clave de licencia que se encuentra dentro del administrador de licencias del Target que se generó. Para esta Tesis se le puso el nombre ARsens al target con el cual se trabajó.

### Montar el Modelado 3D de Blender sobre el WORDSPACE de Unity.

Empleando el software de Blender se renderizo la gráfica importando el archivo con extensión FBX ( .fbx). Dentro del WORDSPACE de Unity en proyectos creamos una carpeta en ASSET que permita identificar de manera ordenada la ubicación del archivo de Blender, para abrir la gráfica dentro de Unity se arrastra el archivo ( .fbx) dentro de la carpeta en ASSET respectivamente.

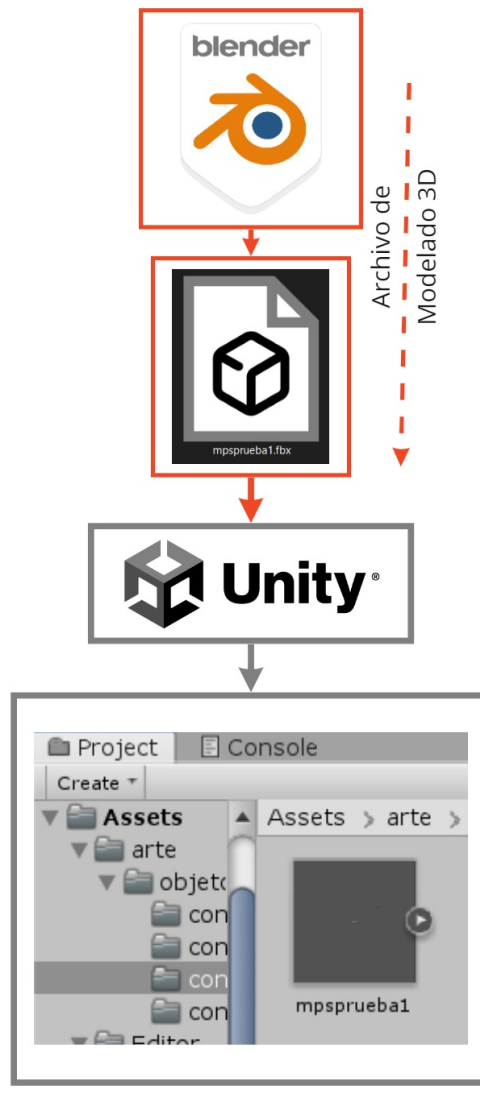


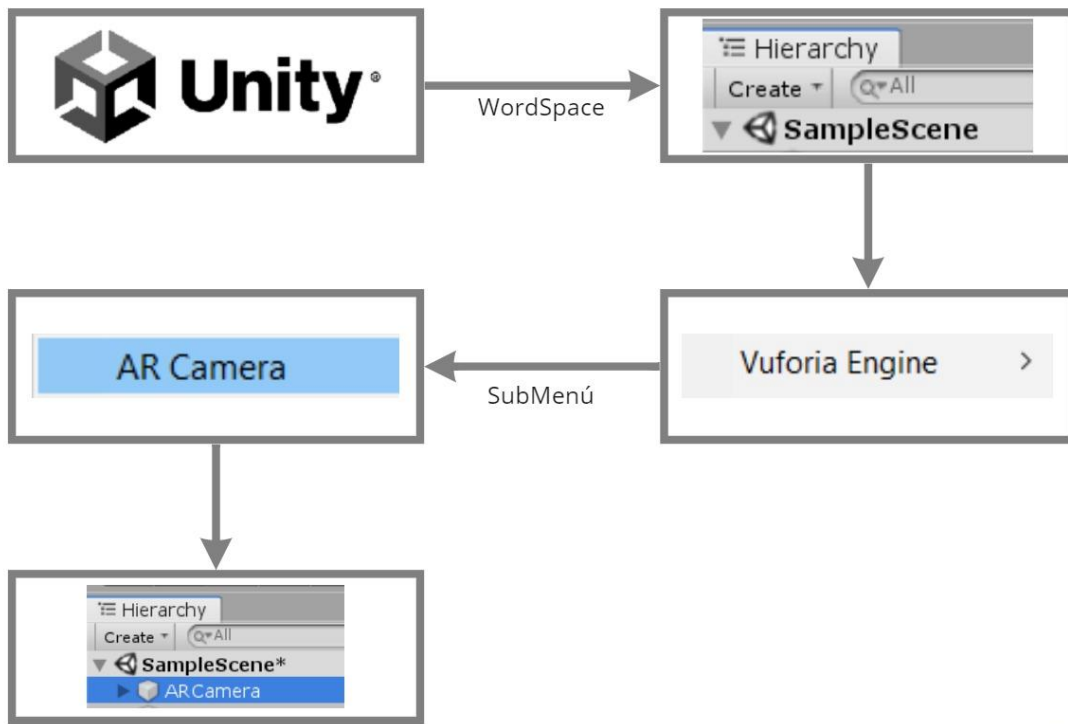
Figura 4 Diagrama de ejecución del archivo de modelado 3D en Unity.

Figura elaborada por el autor.

### Configuración de Realidad Aumentada el WORDSPACE de Unity.

Se inició dentro de la pestaña de HIERARCHI en el WORDSPACE de Unity dando clic derecho, dentro del submenú de Vuforia Engine se eligió el ítem de AR Camera.

Una vez ejecutado los plugin de AR Camera se obtiene el visor de realidad aumentada que mediante el target creado posteriormente se visualizara en 3D el modelo del CONVEYOR.



miro

*Figura 5 Diagrama de configuración en Unity para archivos de Realidad Aumentada.*

Figura elaborada por el autor.

## ESP32 WEB SERVER

Se utilizó el módulo ESP32 para crear un servidor web, mediante este servidor Unity será el cliente accediendo al servidor web mediante su IP. Los datos se enviaron directamente a los puertos GPIO del ESP32 para postear dentro del servidor web.

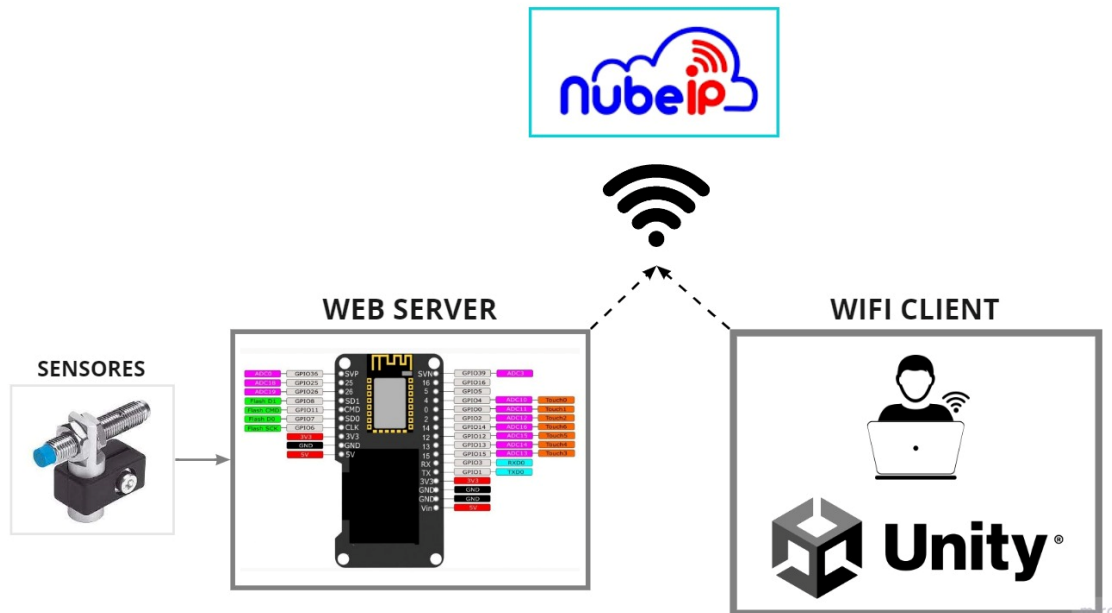


Figura 6 Diagrama de Servidor ESP32 con petición de cliente Unity.

Figura elaborada por el autor.

## Programación

### Programación del ESP32 como WEB SERVER en Arduino IDE.

Mediante el software de Arduino IDE se realizó la siguiente lógica de programación, el cual consistió en utilizar la red de internet local para que el servidor web generado internamente en el ESP32 permita crear un envío de datos de los sensores a través de HTTP (POST Y GET), la visualización de datos de los sensores se observa accediendo con la IP de la red del módulo como dominio de la URI en HTTP. La información sobre la conexión del EPS32 a la red local y la dirección de la IP se visualizó en el monitor serial del Arduino IDE.



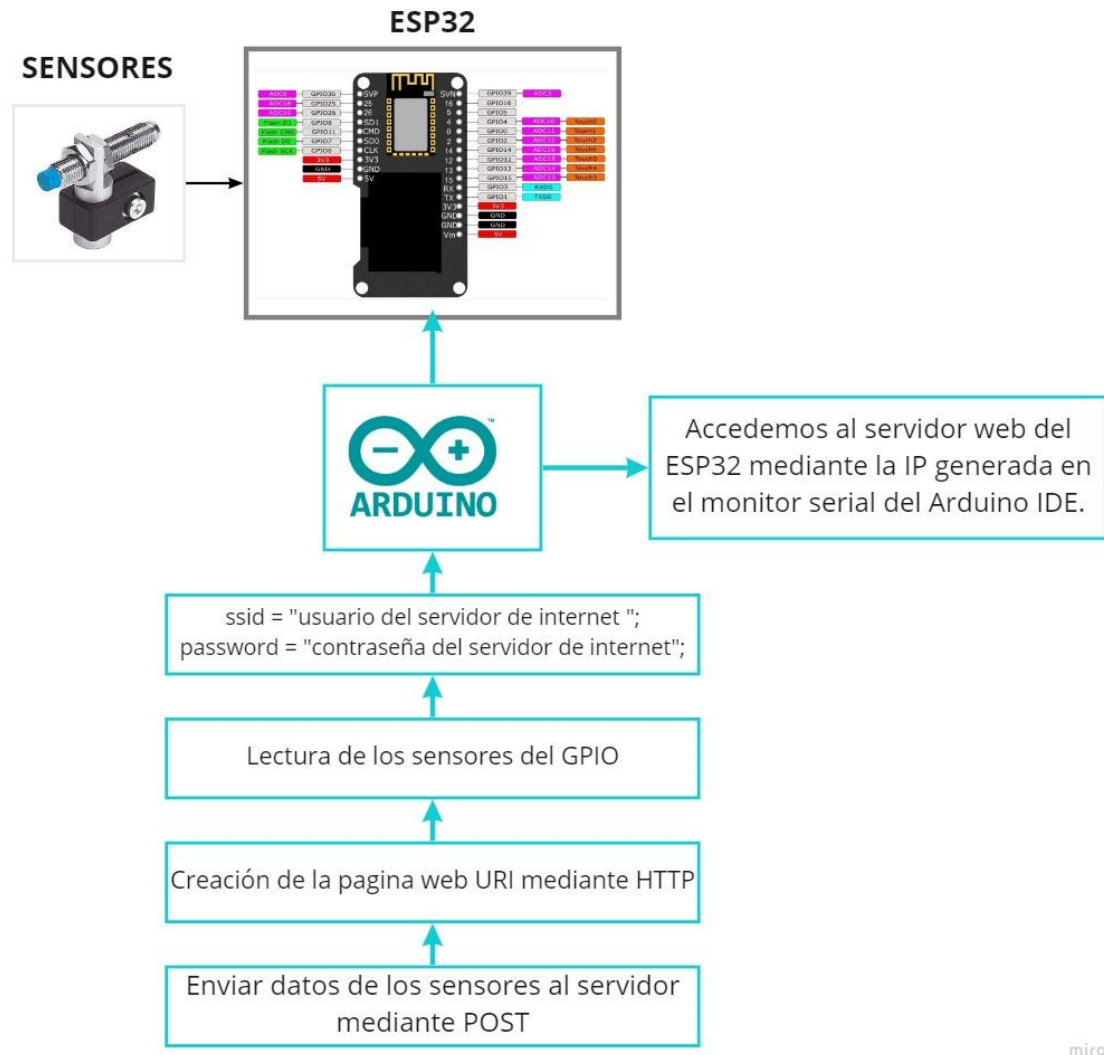
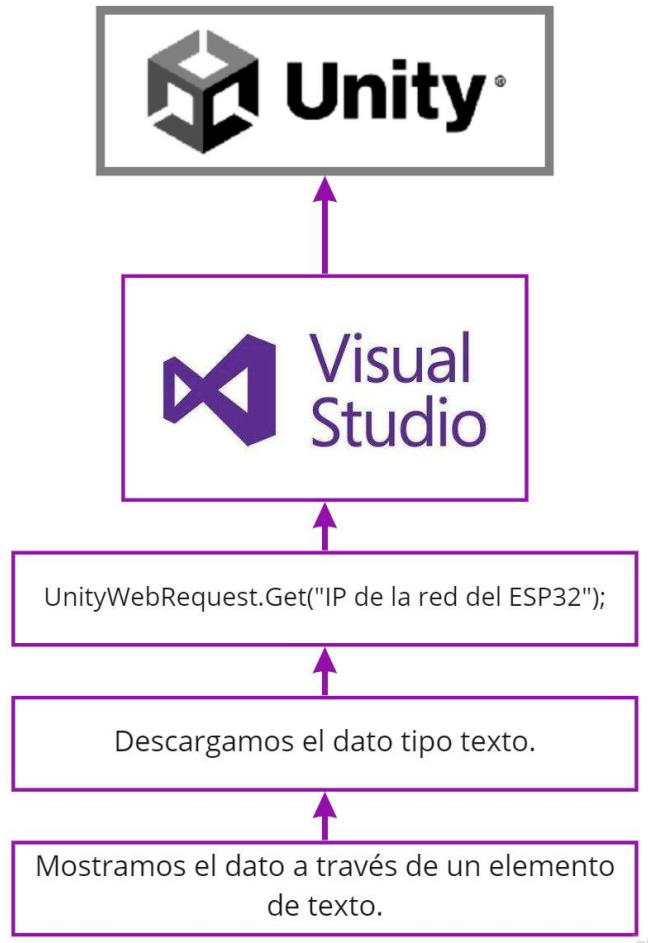


Figura 7 Diagrama de programación del Web Server ESP32 por medio del Arduino IDE.

Figura elaborada por el autor.

### Programación para tomar datos de los sensores del WEB SERVER en Visual Studio.

Mediante el software de Visual Studio se realizó la siguiente lógica de programación para tomar los datos del Web server del ESP32. A través del protocolo de HTTP WEB REQUEST con la extensión (.GET) y la dirección IP de la red que se creó por el ESP32, accedemos a los datos que se publiquen. Unity a manera de cliente ira llamando a los datos uno tras otro del Web Server, los datos se descargaron a manera de texto (.text) para ser mostrados directamente en un elemento de texto.



*Figura 8 Diagrama de programación de Unity para tomar datos del Web Server ESP32.*

Figura elaborada por el autor.

## **Resultados.**

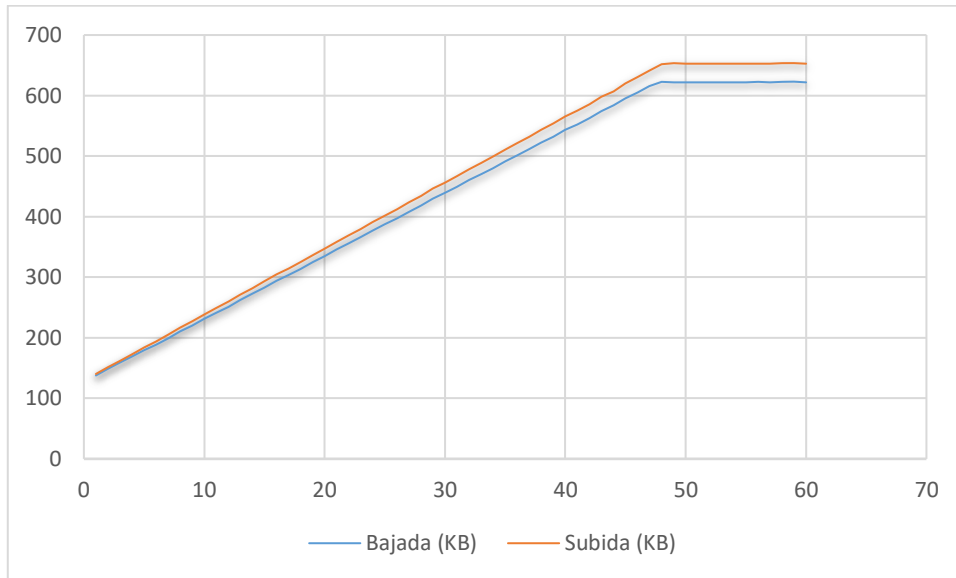
### **Análisis de conectividad.**

Dentro del análisis de conectividad evaluaremos dos fases: Consumo de Bytes del programa y tiempo de conexión del ESP32, dentro de la red de internet local.

Para evaluar el consumo de bytes se hizo uso del software de GlassWire, con el cual se visualizó en tiempo real el flujo de datos tanto de subida como de bajada en el lapso de un 1 minuto recomendado por el software. Una vez conectado el módulo y el programa de Unity corriendo en conexión a la red local, se realizó la toma de muestras como se visualiza en el “Anexo 1”, en cada segundo del minuto que el GlassWire mostró.

Se detecto que el consumo de KB se llegó a estabilizar desde los 48 segundos en adelante como se visualiza en la “Figura 9”, teniendo así que el proyecto corriendo en la

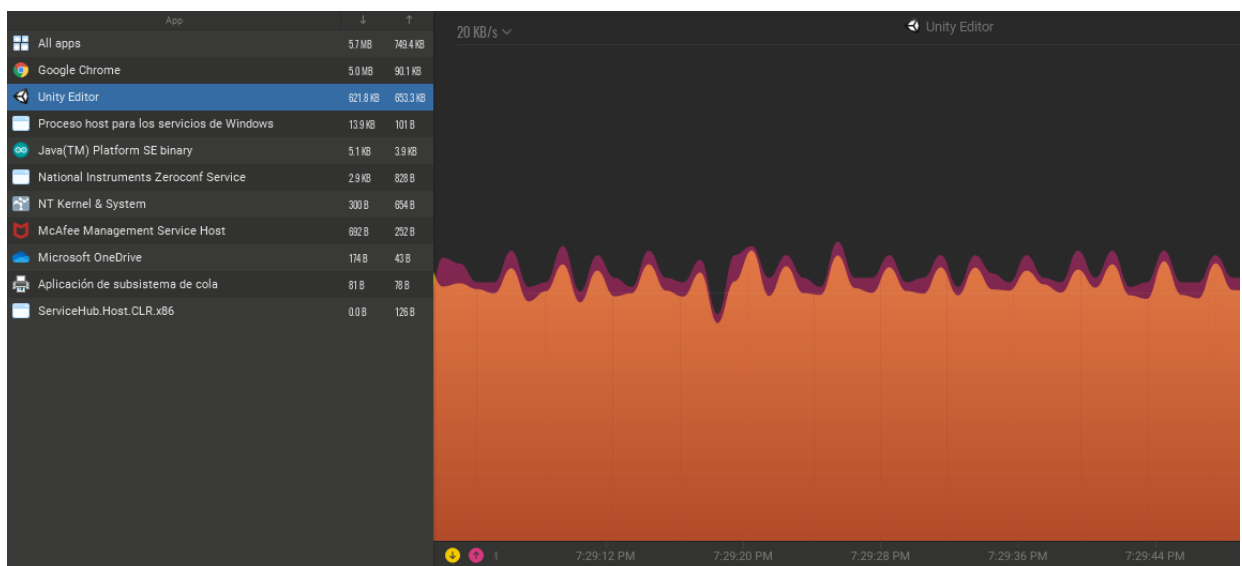
plataforma de Unity conectado a la red local consume un ancho de banda de 322.8 KB de bajada y 338.4 KB de subida.



*Figura 9 Gráfica de muestra de datos de consumo de datos.*

Figura elaborada por el autor.

El Software de GlassWire, además de medir el consumo de datos, determina la estabilidad con la cual trabaja el proyecto dentro de la red local, de manera gráfica se mostró en el tiempo siguiente de la toma de muestra como sigue manteniendo la estabilidad dentro de la misma banda ancha como se visualiza en la “Figura 10”.



*Figura 10 Estabilidad de datos mostrada por GlassWire.*

Figura elaborada por el autor.

### Tiempo de conectividad del ESP32 a la red local.

Para evaluar la conectividad del módulo en conexión de web server, se requirió tomar tiempos de conexión a la red local para mantener el modelo del gemelo digital.

Compilado el código de programación y cargado en el módulo, mediante el monitor serial del Arduino IDE se tomó muestras de tiempos en el cual se demoró en conectarse y activar el servidor web. Se utilizó un cronometro para registrar los tiempos de conectividad utilizando el botón de Enable para sacar un nuevo dato como se observa en la siguiente “Tabla 3”.

Muestras	ms
1	4360
2	4470
3	5030
4	4340
5	4310
6	4330
7	4350
8	4140
9	4330
10	4310

Tabla 3 Muestras de tiempos de conectividad.

Tabla elaborada por el autor.

Esto demuestra que la conexión se da inmediatamente, sometido a una reconexión forzada los datos del servidor web se mantienen estables, para que el modelo del gemelo digital llegue los datos en tiempo real.

El envío de datos que se dio desde el Conveyor físico a través del ESP32 con conexión de web server hacia el modelado digital en realidad virtual, generó un tiempo de muestreo como se observa en la “Tabla 4”, estableciendo un envío y reconocimiento de datos de manera rápida y sin latencia.

	<b>Tiempo de POST en el Web Server</b>	<b>Tiempo de GET para procesamiento en Unity</b>	<b>Latencia</b>
<b>Dato del Sensor Estación 1</b>	523[ms]	502[ms]	NO
<b>Dato del Sensor Estación 2</b>	515[ms]	506[ms]	NO
<b>Dato del Sensor Estación 3</b>	520[ms]	505[ms]	NO
<b>Dato del Sensor Estación 4</b>	522[ms]	500[ms]	NO

*Tabla 4 Tiempo de envío de datos de los sensores para Post en el Web Server y Get de Unity.*

Tabla elaborada por el autor.

Visualizado el proceso en el modelo digital en concordancia con la estación física, el palet cumple un tiempo determinado como se verifica en la “Tabla 5”, el sensor de la estación 1 hacia la estación 2 realiza el mismo tiempo en el modelado 3D, de igual manera se cumple de la estación 2 hacia la 3 y hacia la 4 respectivamente. Las muestras se generaron posicionando al palet en un mismo punto inicial tanto en el modelo digital como en la estación del mundo real.

<b>Tiempo de recorrido del palet.</b>	<b>Modelado Digital</b>	<b>Estación Conveyer</b>
<b>Estación 1 hacia Estación 2</b>	16,81[s]	17,00[s]
<b>Estación 2 hacia Estación 3</b>	17,00[s]	17,15[s]
<b>Estación 3 hacia Estación 4</b>	09,49[s]	09,51[s]
<b>Estación 4 hacia Estación 1</b>	10,44[s]	10,46[s]

*Tabla 5 Tiempos de recorrido del palet en el modelo Digital y en la estación Conveyer.*

Tabla elaborada por el autor.

## VI. CONCLUSIONES

El diseño del modelado gráfico digital del Conveyor físico se obtuvo mediante el uso del software Blender mismo que permitió visualizar el proceso de realidad aumentada desarrollado en Unity.

Para el desarrollo de la comunicación entre el modelo digital y la estación física del Conveyor se utilizó el módulo ESP32 con un algoritmo programado en Arduino IDE de servidor web para enviar los 4 datos de los sensores de la posición del palet hacia la Cloud, permitiendo que Unity tome los datos y los gestione para el proceso del Digital Twin. Para este proyecto se consideró el análisis del consumo de KB de la red local y la ejecución del programa en la plataforma de Unity conectado al servidor web dando como resultado el uso del ancho de banda de 322.8 KB de bajada y 338.4 KB de subida.

La estabilidad del programa en la red local se verificó mediante GlassWire, permitiendo el monitoreo los KB en función del tiempo constatando que fuera del minuto de muestreo no hubo caída del programa en la red local.

La red de sensores del Conveyor físico fue acoplada de 12V a 5V mediante módulos de accionamientos por relés para que el ESP32 reconozca la trama de datos y las posteé en el servidor web, de tal manera que Unity accede a los datos por medio de la IP y toma la cadena de caracteres asignados a cada uno de los 4 sensores para reconocer en el modelo digital la posición del palet.

Para validar la funcionalidad del proceso del Digital Twin se realizó la conexión y desconexión del ESP32 con una toma de 10 muestras, midiendo el tiempo en el cual el servidor web vuelve a estar activo, dando como resultado un promedio de reconexión de 4397 [ms]. En base a los tiempos obtenidos de envío y recepción de datos desde el accionamiento de los sensores hasta la visualización en Unity, se verificó que se cumple el modelo del Digital Twin con datos en tiempo real, con un promedio 1023.25[ms] de transmisión del dato.

La sincronización del modelo Digital y el Conveyor físico del posicionamiento del palet en base a tiempos de recorrido de una estación con la otra respectivamente, se validó que cumplen el mismo recorrido con tiempos similares, sin embargo, se descartó el tiempo de retardo del movimiento del palet en la estación física por rozamientos con elementos externos del Conveyor.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Para realizar proyectos futuros similares con el uso de servidores web es necesario tomar en cuenta que la mayoría de servidores tienen costos por su uso.

Al utilizar Web Server de paga, tienen beneficios de interfaz para almacenamiento y procesamiento de datos dentro de la misma Cloud, permitiendo el ahorro de códigos de programación.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbas, R., Sultan, Z., & Nazir B, S. (2017). Comparative Analysis of Single-Core and. *International Conference on Communication Technologies (ComTech)*, 7(6), 117–130.
- Althubiti, S., Yuan, X., & Esterline, A. (2017). Analyzing HTTP requests for web intrusion detection. *2017 KSU Conference on Cybersecurity Education, Research and Practice*, 11.  
<http://digitalcommons.kennesaw.edu/ccerp%0Ahttp://digitalcommons.kennesaw.edu/ccerp/2017/practice/2>
- B, I. D. C. (2018). *Universidad Autónoma del Estado de México Facultad de Ciencias*. 1–2.
- Babiuch, M., Foltynek, P., & Smutny, P. (2019). Using the ESP32 microcontroller for data processing. *Proceedings of the 2019 20th International Carpathian Control Conference, ICC 2019*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2019.8765944>
- Basogain, X., Olabe, M., Espinosa, K., & Olabe, C. R. J. C. (2010). Realidad Aumentada en la Educación : una tecnología emergente. *Semana*, 5, 12–15.
- Chung Pinzás, A. R. (2014). Software libre aplicado al dibujo industrial: el caso Blender. *Industrial Data*, 12(1), 062. <https://doi.org/10.15381/idata.v12i1.6091>
- Clave, A. C. (2015). *Maquinaria agrícola en Ecuador*. 1–9.
- Ebel, F., & Pany, M. (2006). *Bestimmungsgemäße Verwendung / Intended use*.
- Fezari, M., & Dahoud, A. Al. (2018). Integrated Development Environment “ IDE ” For Arduino. *ResearchGate, October*, 1–12.  
<https://www.researchgate.net/publication/328615543%0AIntegrated>
- Gentry, D., & Pennarun, A. (2016). *Passive Taxonomy of Wifi Clients using MLME Frame Contents*. <http://arxiv.org/abs/1608.01725>
- Haag, S., & Anderl, R. (2018). Digital twin – Proof of concept. *Manufacturing Letters*, 15, 64–66. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2018.02.006>
- Hernández Paez, A., Domínguez Falcón, J. A., & Pi Cruz, A. A. (2018). Arquitectura de software para el desarrollo de videojuegos sobre el motor de juego Unity 3D. *I+D Tecnológico*, 14(1), 54–65. <https://doi.org/10.33412/idt.v14.1.1803>
- Investigaci, P. D. E. (2017). *DESARROLLO TECNOLÓGICO*.
- Las Relaciones Entre China Y Latinoamérica : Cooperación En Ciencia* . (2020). 1(1), 40–49.
- Lin, W. D., & Low, M. Y. H. (2020). Concept design of a system architecture for a manufacturing cyber-physical digital twin system. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2020-Decem*, 1320–1324. <https://doi.org/10.1109/IEEM45057.2020.9309795>
- Lu, Y., Qiu, X., & Xing, Y. (2021). Digital Twin-Based Operation Simulation System and Application Framework for Electromechanical Products. *2021 International Conference on Computer, Control and Robotics, ICCCR 2021*, 146–150.  
<https://doi.org/10.1109/ICCCR49711.2021.9349373>



- Madrid, universidad de. (1377). *sector\_manufacturero*. 68–70.
- Rhodes, B., & Goerzen, J. (2014). Server Architecture. *Foundations of Python Network Programming*, 115–136. [https://doi.org/10.1007/978-1-4302-5855-1\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4302-5855-1_7)
- Robalino-López, A., Ramos, V., Franco-Crespo, A., & Unda, X. (2017). Diseño de un modelo-herramienta para la medición de la innovación en la industria ecuatoriana. *CienciAmérica: Revista de Divulgación Científica de La Universidad Tecnológica Indoamérica*, 6(3), 76–82.  
<http://www.cienciamerica.us/openjournal/index.php/uti/article/view/97/83>
- Santos, G., Kalinowski, M., Rocha, A. R., Travassos, G. H., Weber, K. C., & Antonioni, J. A. (2012). MPS.BR program and MPS model: Main results, benefits and beneficiaries of software process improvement in Brazil. *Proceedings - 2012 8th International Conference on the Quality of Information and Communications Technology, QUATIC 2012*, 137–142. <https://doi.org/10.1109/QUATIC.2012.42>
- Systems, E. (2019). *ESP32-WROOM-32*.
- Varas Chiquito, M., García Plua, J. C., Bustamante Chong, M. E., & Bustamante Chong, C. (2020). Gemelos digitales y su evolución en la industria. *Recimundo*, 4(4), 300–308. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(4\).noviembre.2020.300-308](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).noviembre.2020.300-308)

## IX. ANEXOS

Segundos	↓KB	↑KB
1	137,7	140,2
2	148,8	151,8
3	158,9	162,4
4	168,7	172,8
5	179,5	184,2
6	188,3	193,3
7	198,7	204,8
8	210,4	216,7
9	220,3	227,3
10	231,3	238,8
11	241,3	249,4
12	251,2	259,6
13	262,7	271,6
14	272,9	282,2
15	282,9	292,8
16	293,9	304,3
17	303,9	314,7
18	313,9	325,3
19	324,9	336,8
20	334,8	347,1
21	345,8	358,6
22	355,9	369,3
23	366	379,8
24	376,9	391,3
25	387,2	401,8
26	397,2	412,3
27	408,1	423,9
28	418,3	434,5
29	429,5	446,2
30	439,3	456,5
31	449,1	466,9
32	460,3	478,5
33	470,3	489
34	480	499,4
35	491,2	510,9
36	501,3	521,5
37	511,4	532,1
38	521,9	543,6
39	532,2	554
40	543,3	565,7
41	552,3	575,2
42	562,9	586,1
43	573,9	597,8

<b>44</b>	584,2	606,4
<b>45</b>	595,3	620,3
<b>46</b>	605,3	630,7
<b>47</b>	615,3	641,3
<b>48</b>	622,7	651,7
<b>49</b>	621,8	653,3
<b>50</b>	621,4	652,3
<b>51</b>	622,1	652,7
<b>52</b>	621,8	652,7
<b>53</b>	621,9	652,9
<b>54</b>	622,1	652,7
<b>55</b>	622,2	653
<b>56</b>	622,3	652,9
<b>57</b>	621,6	652,3
<b>58</b>	622,9	653,2
<b>59</b>	623	653,6
<b>60</b>	621,9	652,5

*Anexo 1 Muestra de Consumo de Datos en la red local.*

Tabla elaborada por el autor.