

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN GEMELO DIGITAL Y UNA APLICACIÓN
MÓVIL PARA MONITOREO REMOTO DEL SISTEMA DE
SIMULACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES DE LA CAPEIPI**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN GEMELO DIGITAL Y UNA APLICACIÓN
MÓVIL PARA EL SUBPROCESO DE CORTE Y DESECHO DE
RESIDUOS PARA LA CADENA DE PROCESAMIENTO DE PAPAS**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELÉCTRICA Y AUTOMATIZACIÓN**

CRISTIAN DAVID LEMA CABRERA

cristian.lema01@epn.edu.ec

DIRECTOR: DR. GEOVANNY DANILO CHÁVEZ GARCÍA

danilo.chavez@epn.edu.ec

DMQ, agosto 2024

CERTIFICACIONES

Yo, CRISTIAN DAVID LEMA CABRERA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

CRISTIAN DAVID LEMA CABRERA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por CRISTIAN DAVID LEMA CABRERA, bajo mi supervisión.

DR. GEOVANNY DANILO CHÁVEZ GARCÍA
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

CRISTIAN DAVID LEMA CABRERA

DR. GEOVANNY DANILO CHÁVEZ GARCÍA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis amados padres, Jorge Lema y Herlinda Cabrera, quienes, desde que tengo uso de razón, han sido la luz constante en mi camino, iluminando cada aspecto de mi vida.

A mi hermano Jorge Luis, por su valiosa ayuda y el cariño inquebrantable que siempre me ha demostrado.

A todos los amigos que hice en mi vida universitaria, cuyos momentos compartidos son tesoros que perdurarán en el tiempo, dejando huellas imborrables en mi mente.

Al Dr. Danilo Chávez, por su paciencia y constante apoyo para la realización de este trabajo.

A mí mismo, por demostrar resiliencia en los momentos más sombríos.

AGRADECIMIENTO

A lo largo de este viaje, se han presentado todo tipo de momentos, tanto dulces como amargos. Para sobrellevar esta dicotomía de la vida, he contado con la presencia de aquellas personas que enriquecen el efímero paso por este mundo.

Recuerdo las largas jornadas de estudio en mi hogar, donde mi familia se convertía en el pilar que más necesitaba. Abrumado por el cansancio y el estrés, mis padres, Jorge y Herlinda y mi hermano Jorge Luis encendían luces de esperanza en mí con sus gestos de apoyo. A ellos, les estaré eternamente agradecido.

A Michelle Chiluisa, su apoyo incondicional durante prácticamente todo este camino caló profundamente en mi interior, demostrándome que los sentimientos sinceros existen y son recíprocos.

A mis amigos, con quienes compartí momentos valiosos en esta travesía, desde la alegría por la culminación de proyectos hasta la tristeza por una calificación desfavorable. Gracias a Elvis Toscano, Bryan Calvopiña, Marco Tigse, Daniel Maldonado, David Buele, Carlos Analuisa y René Vaca. También extendiendo mi gratitud a aquellos que, aunque no compartieron mi carrera, se convirtieron en cercanos y queridos amigos: Alex Ramos, Ibeth Sotalín y Paula Altamirano. Y, por supuesto, a los amigos que conocí al final del camino y con quienes viví gratas experiencias: Stalyn Chaviznan, Hansel Lara y Santiago Lozada. Cada uno ha dejado una huella imborrable en esta etapa de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo General.....	1
1.2 Objetivos Específicos.....	1
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Gemelo digital de nivel 2: gemelo informativo.....	3
1.4.2 Modelamiento de la Planta.....	4
1.4.2.1 Blender.....	4
1.4.2.2 Unity.....	5
1.4.2.3 Visual Studio Code.....	5
1.4.3 Conexión con la nube.....	6
1.4.3.1 Google Sheets.....	6
1.4.3.2 Google Apps Script.....	7
1.4.3.3 Google Cloud.....	7
1.4.3.4 API.....	7
1.4.4 Aplicación móvil.....	8
1.4.4.1 FlutterFlow.....	8
1.4.4.2 Formato JSON.....	8
1.4.5 Código QR.....	9
1.4.5.1 TinyWow.....	9
2 METODOLOGÍA.....	9
2.1 Lineamientos para operación del proceso de corte y desecho de papas.....	9
2.2 Creación y Configuración de una Cuenta en Google Cloud para Integración del Gemelo Digital.....	10

2.2.1	Registro en Google Cloud	10
2.2.2	Creación de nuevo proyecto.....	11
2.2.3	Habilitación de APIs y servicios.....	12
2.2.4	Creación de credenciales	14
2.3	Base de datos en Google Sheets	15
2.3.1	Estructura de Hojas en la Base de Datos.....	15
2.4	Funcionalidades avanzadas con Google Apps Script	17
2.4.1	Creación de objetos en formato JSON.....	18
2.4.2	Otras funcionalidades.....	18
2.4.3	Implementación de funcionalidades	18
2.5	Diseño del modelo 3D basado en la planta real.....	19
2.5.1	Modelado en Blender	20
2.5.1.1	Sensores	20
2.5.1.2	Actuadores	23
2.5.1.3	Otros equipos.....	25
2.6	Integración con Unity	25
2.6.1	Diseño de ventanas.....	26
2.7	Diseño de la aplicación móvil.....	30
2.7.1	Desarrollo en FlutterFlow	30
2.7.1.1	Acceso y creación de cuenta.....	30
2.7.1.2	Creación de proyecto	31
2.7.1.3	Entorno e ítems importantes	32
2.7.1.4	Diseño de página de portada	34
2.7.1.5	Llamada de API.....	38
2.7.1.6	Diseño de página de información de equipos.....	39
2.8	Código QR para descarga de aplicación.....	43
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
3.1	Resultados	43
3.2	Conclusiones	52
3.3	Recomendaciones	53
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
5	ANEXOS.....	56

RESUMEN

Un gemelo digital es un paralelo virtual de una planta real, que permite simular y supervisar su comportamiento mediante datos recopilados por los equipos en campo. En este trabajo se busca implementar un gemelo digital de la planta ubicada en el laboratorio del Centro de Diseño e Innovación Tecnológica (CEDIT) dentro de la Cámara de la Pequeña y Mediana Empresa de Pichincha (CAPEIPI). Para este fin, es fundamental la integración de diversas plataformas tecnológicas, incluyendo Google Sheets, Google Apps Script, FlutterFlow, Blender y Unity. Google Sheets aloja la base de datos de los equipos mientras Google Cloud brinda el entorno para la lectura de información directamente desde la nube. Mediante Google Apps Script se agregan varias funcionalidad, una de ellas, la conversión de los datos de los equipos a formato JSON, optimizando el acceso y manejo de la información. La aplicación desarrollada en FlutterFlow interactúa con estos datos, visualizándolos y permitiendo la actualización en tiempo real. Por otra parte, Blender se emplea para la modelación 3D de los equipos de la planta, mientras que Unity integra estos modelos y añade funcionalidad interactiva mediante scripts en Visual Studio Code. El sistema está diseñado para emular el comportamiento de un proceso real, asegurando que los sensores y actuadores funcionen correctamente y se visualicen los errores cuando sea necesario. La aplicación móvil se distribuye a través de un código QR, facilitando su descarga. Este proyecto demuestra la viabilidad de implementar gemelos digitales en la industria ecuatoriana.

PALABRAS CLAVE: Gemelo digital, Base de datos, CAPEIPI, Instrumentación, Sensores, Actuadores.

ABSTRACT

A digital twin is a virtual parallel of a real plant, which allows simulating and monitoring its behavior through data collected by field equipment. This work seeks to implement a digital twin of the plant located in the laboratory of the CEDIT within CAPEIPI. To this end, the integration of various technological platforms, including Google Sheets, Google Apps Script, FlutterFlow, Blender and Unity, is fundamental. Google Sheets hosts the equipment database while Google Cloud provides the environment for reading information directly from the cloud. Through Google Apps Script several functionalities are added, one of them, the conversion of the equipment data to JSON format, optimizing the access and management of the information. The application developed in FlutterFlow interacts with this data, visualizing it and allowing real-time updates. On the other hand, Blender is used for 3D modeling of the plant equipment, while Unity integrates these models and adds interactive functionality through scripting in Visual Studio Code. The system is designed to emulate the behavior of a real process, ensuring that sensors and actuators work correctly and errors are displayed when necessary. The mobile application is distributed via a QR code, making it easy to download. This project demonstrates the feasibility of implementing digital twins in the Ecuadorian industry.

KEYWORDS: Digital Twin, Database, CAPEIPI, Instrumentation, Sensors, Actuators.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria enfrenta desafíos significativos relacionados con la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad de sus procesos. La digitalización y la implementación de tecnologías avanzadas se han convertido en estrategias clave para abordar estos retos. En este contexto, los gemelos digitales emergen como herramientas poderosas para mejorar la supervisión y optimización de los procesos industriales. [1]

Un gemelo digital es una representación virtualmente un proceso físico de manera detallada y dinámica, que permite simular, analizar y optimizar su comportamiento en tiempo real. La integración de equipos como sensores y dispositivos de Internet de las Cosas (IoT) proporciona datos precisos y actualizados que suministran de información al gemelo digital, facilitando la toma de decisiones para que el proceso logre la eficiencia. [1]

En la Cámara de la Pequeña y Mediana Empresa de Pichincha (CAPEIPI) se encuentra el Centro de Diseño e Innovación Tecnológica CEDIT, la implementación de un gemelo digital para el subproceso de corte y desecho de residuos en la cadena de procesamiento de papas promete mejorar la eficiencia operativa y reducir el desperdicio. Este subproceso, crucial para la industria alimentaria, presenta desafíos específicos que pueden ser abordados mediante la integración de tecnologías avanzadas y sirve de base para una posible implementación del subproceso, pero ya de una forma industrial.

1.1 Objetivo General

Implementar un gemelo digital y una aplicación móvil para el subproceso de corte y desecho de residuos para la cadena de procesamiento de papas del sistema de simulación de procesos industriales de la CAPEIPI.

1.2 Objetivos Específicos

1. Realizar una búsqueda bibliográfica sobre aplicaciones móviles, gemelos digitales, software de desarrollo y códigos QR.
2. Analizar la instrumentación en la Línea de Simulación de Procesos Industriales de la CAPEIPI, enfocada en el subproceso de corte y desecho de residuos en la cadena de procesamiento de papas.
3. Desarrollar e implementar un sistema para la recepción y almacenamiento en la nube de los datos de las estaciones del subproceso.
4. Diseñar e implementar un gemelo digital del subproceso real, alojado en la nube.

5. Diseñar e implementar una aplicación móvil para visualizar los datos obtenidos del subproceso.

1.3 Alcance

En el presente trabajo se busca desarrollar e implementar un sistema compuesto por un gemelo digital y una aplicación móvil, que permita la recepción y almacenamiento de datos en la nube, así como la visualización de la información. Además, se integrará el modelado 3D en Blender en conjunto con Unity, para proporcionar una representación visual precisa del subproceso. La aplicación de estos componentes tecnológicos busca optimizar el subproceso de corte y desecho de residuos, proporcionando una herramienta de supervisión avanzada y accesible para los operadores y gestores de la planta.

El corazón del trabajo a desarrollar se centra en analizar la instrumentación existente en la Línea de Simulación de Procesos Industriales de la CAPEIPI, enfocándose en el subproceso de corte y desecho de residuos. Este análisis permitirá identificar las necesidades y oportunidades de mejoramiento, así como el detalle del modelamiento en 3D.

Una vez determinados los sensores y actuadores presentes, se los enlistó en una base de datos en donde se visualiza el estado (ON/OFF) de cada uno de ellos. Google Sheets fue la plataforma elegida para alojar esta base de datos, debido a la facilidad que su API proporciona al trabajar en combinación con otras aplicaciones, como Blender, Unity y FlutterFlow. Amalgamando los programas antes mencionados se desarrolla un sistema para la recepción y almacenamiento de datos en la nube, utilizando Google Cloud. Desencadenando en la creación de un gemelo digital que represente de forma aproximada el subproceso real, una aplicación móvil en Flutterflow para la visualización de los datos y el modelado 3D en Blender y/o Unity, que será crucial para crear una representación visual del subproceso, facilitando una mejor comprensión y análisis.

El despliegue de la aplicación permite a los usuarios acceder remotamente a los datos generados, mejorando así su supervisión- Para una mejor facilidad en la descarga se ha desarrollado un código QR, el cual, al ser leído mediante la cámara y un lector de códigos QR de un dispositivo móvil con sistema operativo Android, dirige hacia la descarga del archivo APK en Google Drive.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Gemelo digital de nivel 2: gemelo informativo

Un Gemelo Digital de Nivel 2, conocido como Gemelo Informativo, añade una capa de datos procedentes del funcionamiento y sensores del sistema físico. Este gemelo digital captura, agrega y verifica datos definidos, asegurando la comunicación entre diferentes entradas del dispositivo central (PLC). [2]

El Gemelo Informativo de Nivel 2 se caracteriza por la captura de datos a través de sensores y dispositivos IoT, que recogen información en tiempo real sobre el estado y el rendimiento del sistema físico. Estos datos provienen de diversas fuentes, como máquinas, equipos, sistemas de control, y otros dispositivos conectados. Una vez capturados, los datos se agregan y consolidan para proporcionar una visión completa del sistema. Además, se implementan procesos de validación y verificación para asegurar la exactitud y confiabilidad de los datos. [3]

Este nivel de gemelo digital facilita la interoperabilidad y colaboración entre diferentes sistemas y plataformas, asegurando que todos los componentes del proceso puedan comunicarse y trabajar juntos de manera eficiente.

Las aplicaciones y beneficios del Gemelo Informativo de Nivel 2 incluyen la monitorización en tiempo real del estado y rendimiento del sistema, permitiendo una respuesta rápida a cualquier anomalía o problema. Además, mejora la eficiencia operativa al identificar y corregir ineficiencias en tiempo real y ayuda a los operadores y gestores a tomar decisiones basadas en datos actualizados, mejorando la planificación y la gestión de recursos. [4]

En el subproceso de corte y desecho de residuos para la cadena de procesamiento de papas, un Gemelo Informativo de Nivel 2 captura datos sobre el peso de las cajas de papas, la cantidad de residuos generados, la humedad presente en las papas, y parámetros importantes como el estado de cada uno de los sensores y actuadores presentes. Estos datos se consolidan en una base de datos centralizada del proceso de corte y desecho alojada en la nube. Además, se verifica la exactitud de los datos recogidos y se utilizan para analizar el rendimiento del sistema, identificando áreas de mejora. Esto permite optimizar el proceso de corte, reduciendo los residuos y mejorando la eficiencia. [5]

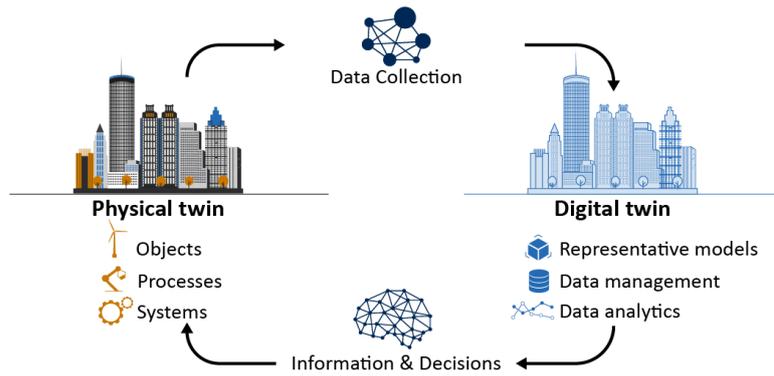


Figura 1. Gemelo Digital y Gemelo Físico. [6]

1.4.2 Modelamiento de la Planta

El modelamiento de la planta consiste en la creación de una representación virtual tridimensional del subproceso de corte y desecho de residuos en la cadena de procesamiento de papas. Para este propósito, se utilizaron las herramientas Blender y Unity.

Blender se emplea para la elaboración del modelo 3D, proporcionando una visualización detallada y precisa de la planta y sus componentes. Este modelo incluye todos los elementos esenciales del subproceso, como los sensores, actuadores, PLCs, HMIs, etc.

Una vez creado el modelo 3D en Blender, se integró con Unity para añadir funcionalidad interactiva, vinculación con la nube y capacidad de simulación. Unity permite incorporar dinámicas y comportamientos al modelo, facilitando la simulación del funcionamiento real de la planta, obteniéndose una representación visual y funcional del subproceso, que es fundamental para la implementación del gemelo digital. La combinación de Blender y Unity proporciona una plataforma robusta para el desarrollo de simulaciones industriales precisas y útiles para la optimización y supervisión de procesos.

1.4.2.1 Blender

Blender es una herramienta de software libre y de código abierto que se utiliza para crear contenido en 3D. Destaca por su versatilidad y capacidad para gestionar todo el proceso de creación 3D, que abarca desde el modelado y la animación hasta la renderización y la simulación. En este proyecto, Blender se emplea para desarrollar una representación tridimensional precisa del subproceso de corte y desecho de residuos, incluyendo componentes como sensores, actuadores, PLCs, HMI, etc. [6]

Blender ofrece numerosas herramientas de modelado que permiten crear formas geométricas detalladas y complejas. Sus principales ventajas incluyen flexibilidad y potencia en el modelado, capacidades de simulación física, una interfaz personalizable y una comunidad activa con abundantes recursos educativos. Estas características hacen de Blender una opción excelente para el modelado necesario en este proyecto. [6]

El proceso de modelado en Blender implica varias etapas: planificación y diseño inicial, creación de modelos básicos, detallado y refinamiento, aplicación de texturas y materiales, y finalmente la exportación e integración de los modelos 3D con Unity. Este último paso permite añadir interactividad y capacidades de simulación a los modelos, proporcionando una representación visual y funcional del subproceso, esencial para la implementación del gemelo digital.

1.4.2.2 Unity

Unity es una plataforma de desarrollo en tiempo real, utilizada para crear aplicaciones interactivas en 2D y 3D, así como simulaciones y videojuegos. Su motor gráfico avanzado y su capacidad de simulación hacen de Unity una herramienta ideal para el desarrollo de proyectos complejos y dinámicos. [7]

Una de las principales ventajas de Unity es su motor de física, que permite simular interacciones realistas entre objetos, incluyendo colisiones y efectos de gravedad. Esto es fundamental para crear representaciones precisas y detalladas de procesos industriales. Además, Unity ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) completo, que incluye herramientas de depuración, edición de scripts y visualización en tiempo real, facilitando el desarrollo y la integración de diferentes componentes del proyecto. [8]

Unity es esencial para proveer las diferentes funcionalidades que el gemelo digital requiere.

1.4.2.3 Visual Studio Code

Visual Studio Code (VS Code) es un programa dedicado a la edición de código fuente desarrollado por Microsoft. Es ampliamente utilizado debido a su flexibilidad, extensibilidad y soporte para múltiples lenguajes de programación. En este proyecto, Visual Studio Code se utiliza conjuntamente con Unity para la creación de scripts, facilitando la interacción y la funcionalidad del modelado 3D. [8]

Visual Studio Code se integra estrechamente con Unity para desarrollar los scripts necesarios que controlan la interactividad y el comportamiento de los modelos 3D. Esta

integración permite aprovechar las capacidades avanzadas de edición y depuración de VS Code dentro del entorno de desarrollo de Unity. Los scripts en C# se desarrollan en VS Code, proporcionando el control necesario para las interacciones y comportamientos dentro de la simulación en Unity, permitiendo manejar eventos, controlar animaciones y gestionar la lógica del juego o simulación. [8]

1.4.3 Conexión con la nube

La información de los sensores y actuadores se almacena en Google Sheets, proporcionando una base de datos accesible y organizada. Sin embargo, para que estos datos se integren efectivamente en el gemelo digital y se visualicen tanto en el modelo 3D como en la aplicación móvil, es necesario utilizar Google Cloud.

1.4.3.1 Google Sheets

Google Sheets es una herramienta de hojas de cálculo basada en la nube desarrollada por Google, que permite a los usuarios manejar una gran cantidad de funciones en hojas de cálculo en tiempo real desde cualquier dispositivo con acceso a Internet. Su capacidad de colaboración en tiempo real permite que múltiples usuarios trabajen simultáneamente en la misma hoja de cálculo, lo que facilita la coordinación y el trabajo en equipo. Google Sheets ofrece una amplia gama de funciones avanzadas, como fórmulas complejas, gráficos, tablas dinámicas y formatos condicionales, que permiten a los usuarios analizar y presentar datos de manera efectiva. [9]

Una de las características más destacadas de Google Sheets es su integración con otros servicios de Google, especialmente Google Cloud. Esta integración permite la conexión y sincronización de datos entre Google Sheets y Google Cloud, lo que es esencial para proyectos que requieren procesamiento y análisis de datos en tiempo real. Mediante el uso de la API de Google Sheets, los datos almacenados en una hoja de cálculo pueden ser leídos, escritos y actualizados automáticamente por aplicaciones y servicios en la nube, facilitando la automatización de procesos y el intercambio de información. [9]

Teniendo en cuenta la implementación del gemelo digital, Google Sheets actúa como una base de datos accesible donde se almacenan los datos recopilados por sensores y actuadores. Estos datos se pueden enviar a Google Cloud, donde se procesan y analizan para actualizar el modelo 3D y la aplicación móvil en tiempo real.

1.4.3.2 Google Apps Script

Google Apps Script es una plataforma de desarrollo basada en JavaScript que permite automatizar tareas y extender funcionalidades en las aplicaciones de Google Workspace, como Google Sheets, Google Docs, Google Forms y otros servicios de Google. Esta herramienta es especialmente útil para usuarios que desean mejorar la eficiencia y productividad mediante la automatización de procesos repetitivos y la integración de servicios. [10]

Google Apps Script es fundamental para la automatización y sincronización de datos entre Google Sheets y otros servicios de Google Cloud. Por ejemplo, se pueden crear scripts que automaticen la recolección y el procesamiento de datos de sensores, actualizando automáticamente la base de datos en Google Sheets y asegurando que los datos estén disponibles en tiempo real para el gemelo digital

1.4.3.3 Google Cloud

Google Cloud es una plataforma de servicios en la nube propiedad de Google que proporciona una amplia gama de herramientas y servicios para almacenamiento, procesamiento de datos, inteligencia artificial y desarrollo de aplicaciones. Diseñada para empresas de todos los tamaños, Google Cloud facilita la creación, implementación y escalado de aplicaciones en un entorno seguro y altamente disponible. [11]

La integración de Google Cloud con otras herramientas de Google, como Google Sheets y Google Apps Script, facilita la automatización y sincronización de datos, en este caso, para un gemelo digital, los datos recopilados por sensores y actuadores pueden ser almacenados en Google Sheets y procesados en tiempo real mediante Google Cloud. Esto asegura que los datos estén siempre actualizados y disponibles para su visualización y análisis.

1.4.3.4 API

Una API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) se puede definir como una agrupación de reglas y protocolos que es capaz de relacionar diferentes software y aplicaciones para que se comuniquen entre sí. Las APIs definen los métodos y datos que los desarrolladores pueden usar para interactuar con un servicio, una aplicación o una plataforma, facilitando la integración y la funcionalidad entre sistemas diversos. Al proporcionar una capa de abstracción, las APIs permiten a los desarrolladores acceder a funcionalidades o datos sin necesidad de conocer los detalles internos del sistema. [12]

Las APIs juegan un papel crucial ya que permiten la conexión y comunicación entre el gemelo digital, la base de datos y la aplicación móvil. La API de Google Sheets permite leer y escribir datos en hojas de cálculo de Google, mientras que la API de Google Cloud Storage permite gestionar el almacenamiento de archivos en la nube. Estas APIs son esenciales para enlazar todas las funcionalidades del gemelo digital

1.4.4 Aplicación móvil

Otro componente esencial de este proyecto es la aplicación móvil, encargada de visualizar la información recopilada por los sensores y actuadores. Estos datos, almacenados en Google Sheets, se actualizan en tiempo real y se muestran en la aplicación, permitiendo a los usuarios monitorear y supervisar el estado y el rendimiento del sistema desde cualquier lugar.

1.4.4.1 FlutterFlow

FlutterFlow es una plataforma que brinda la capacidad de crear aplicaciones móviles bajo la premisa de no ser un experto en programación. Utiliza un enfoque de desarrollo visual que facilita el diseño y la implementación de interfaces de usuario complejas y funcionales mediante un sistema de arrastrar y soltar. [13]

La plataforma está construida sobre Flutter, el framework de desarrollo de aplicaciones de Google que emplea lenguaje de programación Dart. FlutterFlow aprovecha las capacidades de Flutter para ofrecer una experiencia de desarrollo robusta y eficiente. La plataforma permite diseñar pantallas, definir interacciones y lógica empresarial, y conectar la aplicación a diversas bases de datos y APIs, todo dentro de un entorno visual intuitivo [13].

Para el presente trabajo FlutterFlow es fundamental para el desarrollo de la aplicación móvil que permite a los usuarios visualizar y gestionar datos de sensores y actuadores en tiempo real. La facilidad de integración con Google Sheets y Google Cloud garantiza que los datos estén siempre actualizados y accesibles.

1.4.4.2 Formato JSON

JSON, es la abreviatura para JavaScript Object Notation, es un formato de intercambio de datos de una lectura simple, así como fácil de generar y sobretodo de procesar por las máquinas. JSON se utiliza ampliamente para transmitir datos entre un servidor y una aplicación web. [14]

En la aplicación, en FlutterFlow, el tratamiento de la información mejora al leer la base de datos en formato JSON, ya que de esta manera es más accesible acceder rápidamente al

detalle de los sensores y actuadores, sin necesidad de recurrir a la tediosa tarea de leer celda por celda en la hoja de cálculo.

1.4.5 Código QR

Los códigos QR (Quick Response) son básicamente una especie de código de barras bidimensional que puede almacenar una cantidad significativa de información en un pequeño espacio. Estos códigos se componen de patrones de puntos blancos y negros organizados en un cuadrado, estos pueden ser escaneados y leídos fácilmente mediante dispositivos con cámaras, como smartphones y tablets. [15]

Para este trabajo, el código QR se utiliza para redirigir a los usuarios hacia una carpeta en línea donde se encuentra el archivo APK de la aplicación móvil. Al escanear el código QR con un dispositivo móvil, los usuarios son automáticamente dirigidos a esta ubicación en línea, permitiéndoles descargar e instalar la aplicación de manera rápida y sencilla. Esta funcionalidad es particularmente útil para facilitar el acceso a la aplicación.

1.4.5.1 TinyWow

TinyWow es una plataforma en línea que ofrece diversas herramientas gratuitas para editar y convertir archivos. Una de sus funcionalidades más útiles es la generación de códigos QR. Este servicio permite transformar enlaces en códigos QR escaneables. [17]

2 METODOLOGÍA

De acuerdo a los módulos y la instrumentación presentes en el laboratorio de la CEDIT en CAPEIPI, y en base a los datos proporcionados en un trabajo de integración curricular anterior [cita], en el cual, se desarrolló la implementación física del proyecto, se da lugar a la ejecución de los procesos necesarios para la puesta en marcha del gemelo digital.

2.1 Lineamientos para operación del proceso de corte y desecho de papas

Estos lineamientos se basan, en parte, a los determinados para la implementación física realizada en el trabajo de integración curricular anterior [16], de esta manera:

- **Peso:** Para la simulación del proceso, se establece que si el peso de las cajas de papas es menor a 20 Kg. se envía a reprocesamiento .
- **Humedad relativa:** Esta variable se refiere a la cantidad de humedad en las papas. El rango va del 0% al 100%, si la humedad relativa es menor a 10%, se envía a la sección de reprocesamiento.

- **Tamaño de la papa:** Se definen tres tamaños: pequeño, mediano y grande, de acuerdo con las normas de consumo de papa que clasifican el tamaño del tubérculo en categorías.
- **Tipo de corte:** Los cortes de papas se dividen en lámina o chip, usados en la producción de snacks, y en bastón, utilizado para fritura y congelado.
- **Peso de producción:** Después del corte, el producto se distribuye en bolsas estandarizadas de 500 g y 1000 g.
- **Cantidad producida:** Es el número de bolsas obtenidas tras distribuir las papas cortadas en las bolsas, de acuerdo con su peso.
- **Peso de desecho:** Es la cantidad en kilogramos del material desechable después del proceso de corte.
- **Contenido de desecho:** Se identifican tres tipos de desechos: cáscaras, trozos de papa y sobrantes de corte.
- **Reprocesamiento:** Se refiere al incumplimiento de las características del producto. Esta condición se evalúa durante el proceso de corte, verificando si la caja cumple con los parámetros de peso y humedad. En el módulo de desecho, estas cajas son separadas.

2.2 Creación y Configuración de una Cuenta en Google Cloud para Integración del Gemelo Digital

Para conectar los elementos del gemelo digital es necesario integrarlos con Google Cloud, es esencial crear una cuenta y configurar el entorno de trabajo. A continuación, se detallan los pasos necesarios para este fin.

2.2.1 Registro en Google Cloud

- Para registrarse en Google Cloud se accede al sitio: <https://cloud.google.com/>, ubicándose en la parte superior derecha de la página se encuentra el ítem “Empezar gratis”, como se muestra en la Figura 2, al dar click, se abre una pestaña en donde es indispensable ingresar con una cuenta de Google. [17]

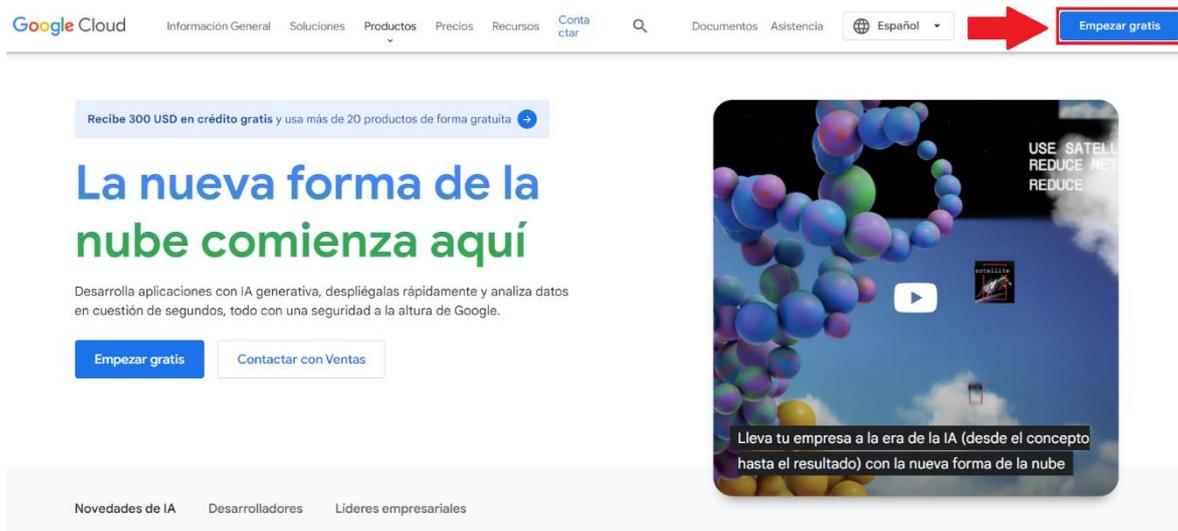


Figura 2. Acceso a Google Cloud

- Para este trabajo se hace uso de la cuenta proporcionada por el tutor Danilo Chávez, en la Figura 3 se puede apreciar el correo de la misma.



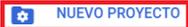
Figura 3. Ingreso de cuenta

- Una vez dentro, Google proporciona un crédito gratuito por tres meses para hacer uso de sus servicios, con la condición de ingresar una tarjeta de crédito/débito para confirmar el uso responsable de los usuarios con la plataforma. Al terminar la prueba gratuita, Google evalúa los servicios utilizados y genera la facturación en base a estos.

2.2.2 Creación de nuevo proyecto

- Ya en el entorno de Google Cloud Console, dirigirse a la sección “Seleccionar un proyecto”, posteriormente al ítem “NUEVO PROYECTO”, para la creación de un nuevo proyecto, como se aprecia en la Figura 4

Seleccionar un proyecto



🔍 Buscar proyectos y carpetas

Figura 4. Creación de Nuevo Proyecto

- Se despliega una sección en la que se debe asignar una nombre al proyecto y si se requiere una ubicación. El nombre “TIC-CRISTIAN-LEMA” es el escogido para fines de este trabajo, como se observa en la Figura 5

Nuevo proyecto

 Le quedan 22 proyectos en su cuota. Solicitar un aumento o eliminar proyectos. [Aprende más](#)

[ADMINISTRAR CUOTAS](#)

Nombre del proyecto *

ID del Proyecto: tic-cristian-lema-430206. No se puede cambiar más tarde. [EDITAR](#)

Ubicación *

[HOJEAR](#)

Organización o carpeta principal

Figura 5. Nombre del proyecto

- Para finalizar, simplemente se da click en “Crear”.

2.2.3 Habilitación de APIs y servicios

- En la parte superior izquierda, al hacer click en las tres barras horizontales, se despliega un menú, aquí se busca “APIs y servicios” y nuevamente “Biblioteca” como se muestra en la Figura 6.

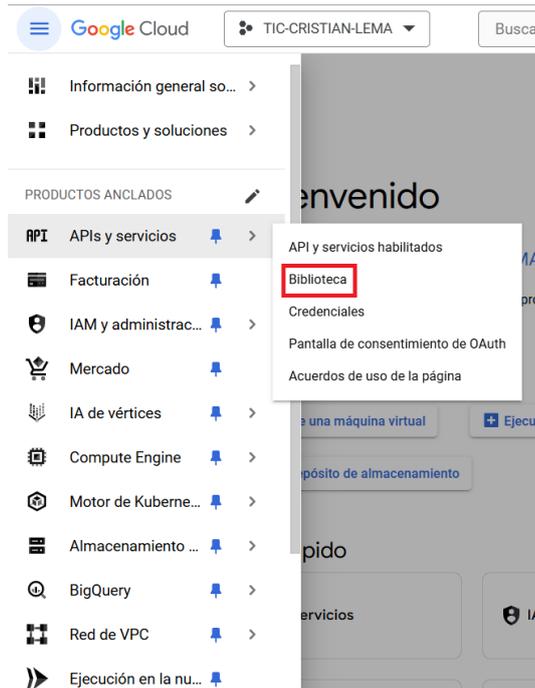


Figura 6. Biblioteca de APIs y servicios

- En la biblioteca se buscan las APIs que permiten enlazar las funcionalidades que requiere el gemelo digital, de esta manera, la API fundamental que se presenta en cuestión es la API de Google Sheets, para habilitarla basta con dar click en “Habilitar”, una vez realizada esta acción, se muestra el texto “API habilitada”, como se observa en la Figura 7. [9]



Figura 7. API de Google Sheets habilitada

- También se habilitan otras APIs secundarias, en nivel de importancia, como la de Google Drive, Cloud Storage, etc, para no tener ningún tipo de problema al trabajar con el gemelo digital

2.2.4 Creación de credenciales

- En “APIs y servicios”, luego en “Credenciales”, se da lugar a la creación de credenciales, seleccionando “Cuenta de servicio”, como se puede observar en la Figura 8.

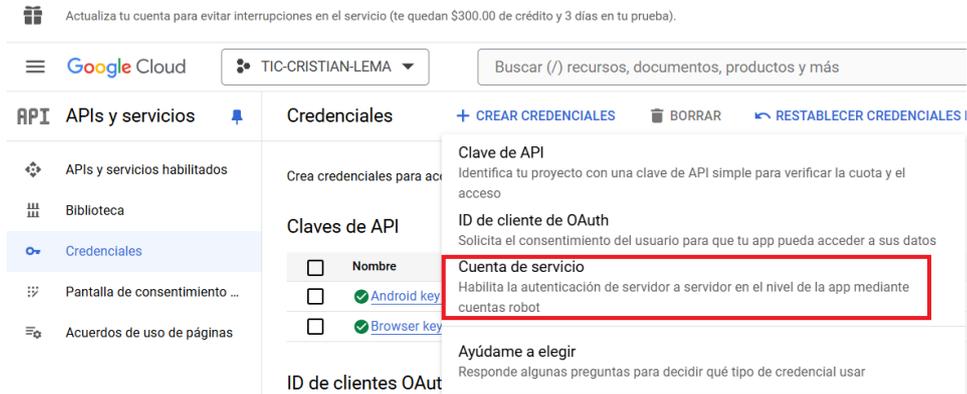


Figura 8. Creación de cuenta de servicio

- Posteriormente hay que configurar la cuenta de servicio, proporcionando un nombre y una descripción, en la Figura 9 se observan estos detalles.

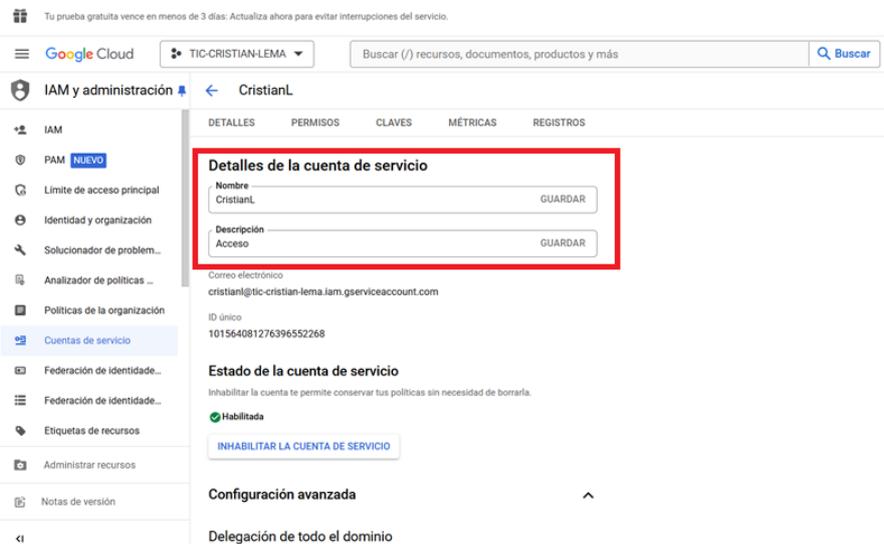


Figura 9. Detalles de cuenta de servicio

- Una vez creada la cuenta de servicio, es necesario dirigirse a la sección de "Claves". Allí, al hacer clic en "Agregar clave" y luego en "Nueva clave", se genera una de tipo JSON, como se muestra en la Figura 10. Esta clave se descarga automáticamente en el ordenador, tal como se puede ver en la Figura 11. Este archivo JSON es crucial para el proyecto, ya que permite autenticar las aplicaciones

con Google Cloud, asegurando un acceso seguro y autorizado a los servicios en la nube. [17]

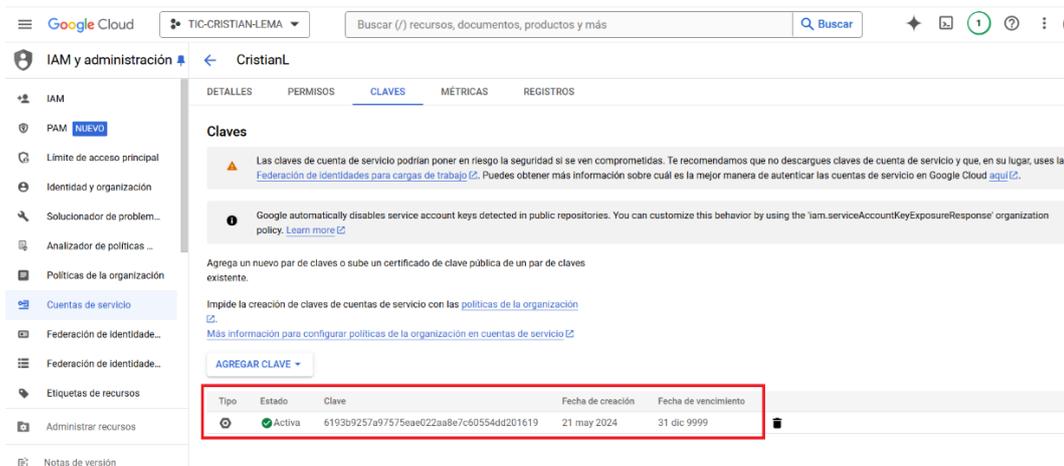


Figura 10. Clave de cuenta de servicio

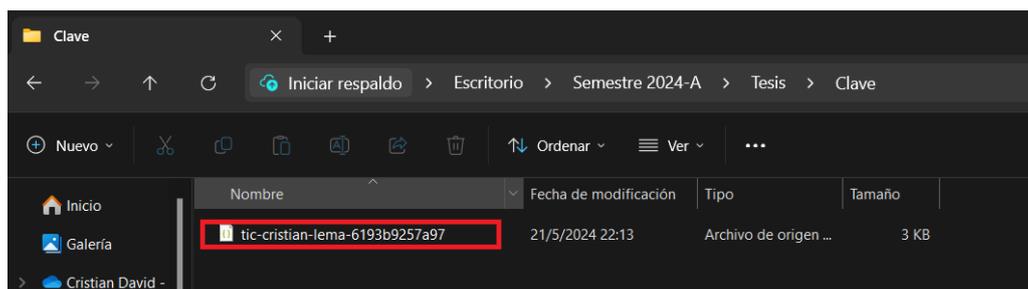


Figura 11. Clave tipo JSON

2.3 Base de datos en Google Sheets

Google Sheets es la plataforma elegida para alojar la base de datos debido a su facilidad de integración con los programas y herramientas que se requieren en el presente trabajo. Esta elección se fundamenta en las ventajas que ofrece, como la accesibilidad en la nube, la compatibilidad con múltiples aplicaciones a través de APIs y la sincronización de datos.

2.3.1 Estructura de Hojas en la Base de Datos

Toda la información de los equipos se encuentra distribuida en tres hojas, a continuación, se explica el contenido de cada una:

- Hoja1: Muestra la información de los sensores de la planta, su nombre, estado, imagen (alojada en i.posting.co) y el módulo en el cual se ubica, de acuerdo a como se observa en la Figura 12.

Sensores	Estado	Imágenes	Módulo
Sensor de peso 1	30 Kg.	https://i.postimg.cc/WbKvL84y/speso1.png	Módulo de Corte
Sensor de humedad	25 %	https://i.postimg.cc/vZJb9hFn/shumedad.png	Módulo de Corte
Sensor inductivo 1	ON	https://i.postimg.cc/QtsDYMMx/sinductivo.png	Módulo de Corte
Sensor inductivo 2	OFF	https://i.postimg.cc/QtsDYMMx/sinductivo.png	Módulo de Corte
Sensor magnético 1	OFF	https://i.postimg.cc/C5xgY6D3/smagn.png	Módulo de Corte
Sensor magnético 2	OFF	https://i.postimg.cc/C5xgY6D3/smagn.png	Módulo de Corte
Sensor de peso 2	3 Kg.	https://i.postimg.cc/WbKvL84y/speso1.png	Módulo de Desecho
Sensor inductivo 3	OFF	https://i.postimg.cc/QtsDYMMx/sinductivo.png	Módulo de Desecho
Sensor inductivo 4	OFF	https://i.postimg.cc/7LSDNzww/sindrojo.png	Módulo de Desecho
Sensor fotoeléctrico	OFF	https://i.postimg.cc/rFY8ycfQ/sfotoe.png	Módulo de Desecho
Sensor magnético 3	OFF	https://i.postimg.cc/C5xgY6D3/smagn.png	Módulo de Desecho

Figura 12. Hoja1 con la información de sensores

- Hoja2: Muestra la información de los actuadores de la planta, su nombre, estado, imagen (alojada en i.postimg.cc) y el módulo en el cual se ubica, de acuerdo a como se observa en la Figura 13.

Actuadores	Estado	Imágenes	Módulo
Motor Banda Transportadora	ON	https://i.postimg.cc/0Qq5gfVv/motorbanda.png	Módulo de Corte
Cilindro neumático 1	OFF	https://i.postimg.cc/3JWtCv3p/ventosa.png	Módulo de Corte
Cilindro neumático 2	OFF	https://i.postimg.cc/43HnRnZ6/cilindro.png	Módulo de Corte
Cilindro neumático 3	OFF	https://i.postimg.cc/43HnRnZ6/cilindro.png	Módulo de Corte
Válvula electroneumática 1	OFF	https://i.postimg.cc/P5P51NCg/electrovalve.png	Módulo de Corte
Válvula electroneumática 2	OFF	https://i.postimg.cc/P5P51NCg/electrovalve.png	Módulo de Corte
Válvula electroneumática 3	OFF	https://i.postimg.cc/P5P51NCg/electrovalve.png	Módulo de Corte
Válvula electroneumática 4	OFF	https://i.postimg.cc/P5P51NCg/electrovalve.png	Módulo de Desecho
Cilindro neumático 4	OFF	https://i.postimg.cc/43HnRnZ6/cilindro.png	Módulo de Desecho

Figura 13. Hoja2 con la información de actuadores

- Hoja3: Aquí se detalla la información de la hoja de trazabilidad [16], en la cual, se presenta la información recopilada a lo largo de todo el proceso, basada en los datos obtenidos de los sensores y actuadores. Los datos incluyen mediciones de peso, humedad, tamaño, tipo, incumplimiento de parámetros, etc. Como se observa en la Figura 14.

CAPEIPI CAMARA DE LA PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA DE PICHINCHA		GEMELO DIGITAL-PROCESO DE CORTE Y DESECHO		ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
GUIA DE TRAZABILIDAD DE LA ESTACION DE CORTE					
Nombre de Responsable: Cristian Lema		Fecha: 7/29/2024			
Codigo: 201610641					
Lote: 240219001	Peso Total: 30.00 Kg.	Humedad Total: 25.00 %			
Envío a estación de desecho para reproceso: <input type="checkbox"/>		Motivo:		Incumple Peso: <input type="checkbox"/>	
				Incumple Humedad: <input type="checkbox"/>	
Tamaño de papa		Peso unitario		Tipo de corte	
Grande: <input checked="" type="checkbox"/>	500 gr. <input checked="" type="checkbox"/>	Bastones: <input checked="" type="checkbox"/>		Unidades producidas: <input type="text" value="97"/> unidades	
Mediano: <input type="checkbox"/>	1000 gr. <input type="checkbox"/>	Chips: <input type="checkbox"/>			
Pequeño: <input type="checkbox"/>					
GUIA DE TRAZABILIDAD DE LA ESTACION DE DESECHO					
Nombre de Responsable: Cristian Lema		Fecha: 7/29/2024			
Codigo: 201610641					
Lote: 240219001					
Reprocesamiento					
Incumplimiento: <input type="checkbox"/>	Peso: <input type="text" value="30.00"/> Kg.	Validación: <input type="checkbox"/>			
	Humedad: <input type="text" value="25.00"/> %	Corrección: <input type="checkbox"/>			
Desecho					
Peso total de desecho: <input type="text" value="3.00"/> kg.		Tipo de corte		Contenido de desecho	
		Bastones: <input checked="" type="checkbox"/>		Cáscaras: <input checked="" type="checkbox"/>	
		Chips: <input type="checkbox"/>		Trozos de papa: <input checked="" type="checkbox"/>	
				Sobrantes de corte: <input checked="" type="checkbox"/>	

Figura 14. Hoja3 de trazabilidad

2.4 Funcionalidades avanzadas con Google Apps Script

Mediante Google Apps Script, accesible desde la barra de menús seleccionando "Extensiones" y luego "Apps Script" como se muestra en la Figura 15, es posible añadir funcionalidades adicionales a la hoja de cálculo.

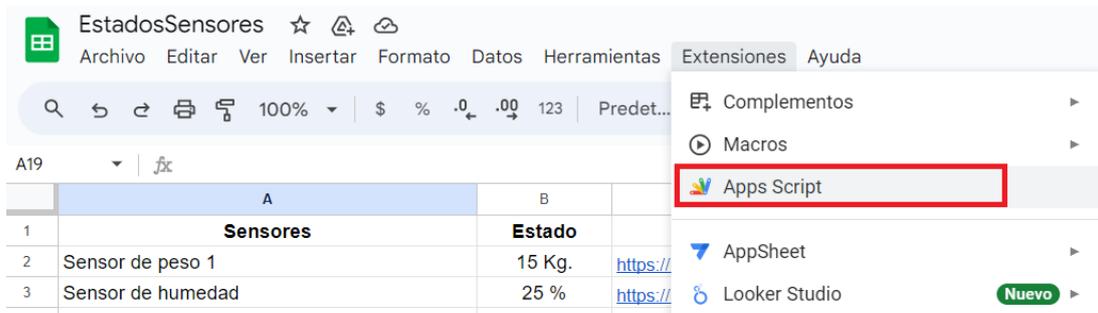


Figura 15. Selección de Apps Script

2.4.1 Creación de objetos en formato JSON

El formato JSON es útil para optimizar la lectura de la información de los elementos de una hoja de cálculo ya que los organiza en una estructura clara y sencilla, simplificando la extracción y manipulación de la información que se requiere [14]. Esta forma de organizar los datos será fundamental para trabajar posteriormente en FlutterFlow.

A continuación, se muestra la forma que tiene un objeto JSON:

```
{  
  "Sensores": "Sensor inductivo 1",  
  "EstadosS": "ON",  
  "ImagesS": "https://i.postimg.cc/QtsDYMMx/sinductivo.png",  
  "ModulosS": "Módulo de Corte"  
}
```

Sensores: Corresponde al nombre del sensor.

EstadosS: Corresponde al estado en el que se encuentra el sensor.

ImagesS: Corresponde a la URL en donde se encuentra alojada la imagen del sensor.

ModulosS: Corresponde al módulo en donde se encuentra ubicado el sensor.

2.4.2 Otras funcionalidades

Se añaden funcionalidades específicas a la hoja de cálculo para emular el comportamiento de un PLC real. Por ejemplo, si el sensor inductivo 1, ubicado al inicio del módulo de corte, está en "ON", ningún otro sensor encargado de la detección de las cajas de papas debe compartir el mismo estado "ON"; en su lugar, todos los demás sensores deben cambiar automáticamente a "OFF". Asimismo, si una válvula electroneumática está en "ON", el cilindro neumático que controla también debe estar en "ON". Además, si se ingresa un valor distinto a "ON" u "OFF" en los estados de los sensores booleanos, aparecerá automáticamente un mensaje de "¡ERROR!" que se mantendrá hasta que se ingrese "ON" u "OFF" correctamente.

2.4.3 Implementación de funcionalidades

Una vez programados los códigos para agregar las funcionalidades descritas anteriormente, se procede a compilar el código. Luego, en el menú "Deploy" y

seleccionando “New deployment”, se asigna un nombre a la implementación y se genera una URL única, como es posible observar en la Figura 16. Esta URL es esencial para la llamada API que se integrará en FlutterFlow, permitiendo así la conexión y el uso de los datos desde la hoja de cálculo en la aplicación móvil.

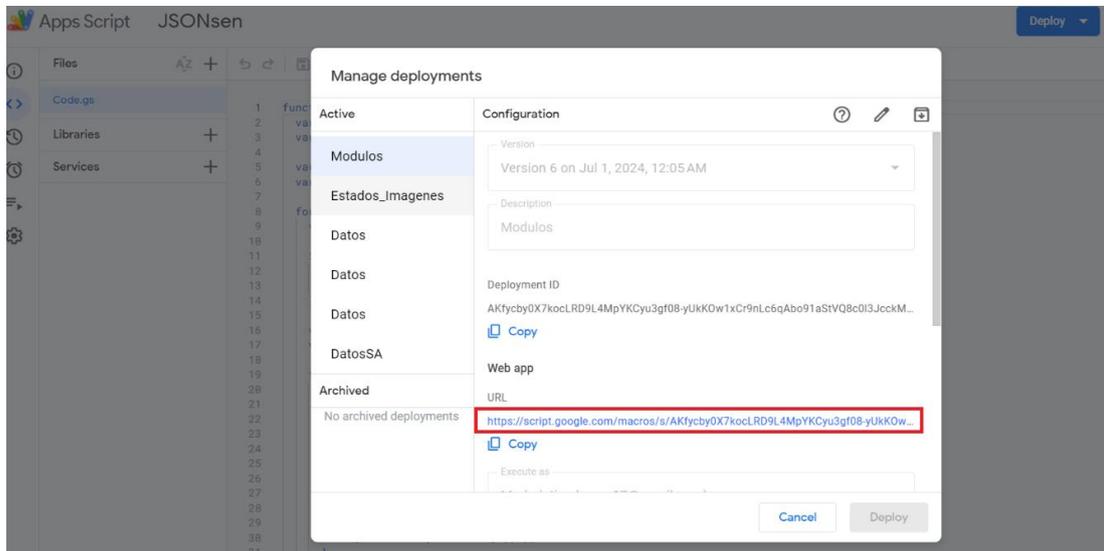


Figura 16. URL de implementación

2.5 Diseño del modelo 3D basado en la planta real

Para el diseño del modelo 3D se contemplan dos etapas fundamentales.

En la primera etapa, se realiza el modelado de la planta y todos los componentes involucrados, tales como sensores, actuadores y otros elementos. Para esta tarea, se utiliza el software Blender, conocido por sus amplias capacidades en la creación de modelos 3D precisos y detallados. Blender permite definir las dimensiones y características de cada objeto con gran exactitud, facilitando la representación fiel de la planta y sus componentes físicos en un entorno virtual. [6]

La segunda etapa involucra la utilización del software Unity, que se encarga de añadir interactividad a los elementos del entorno 3D creado en Blender. En esta fase, se emplea la programación en lenguaje C# para desarrollar las funcionalidades necesarias que permitan la interacción dinámica entre los diversos componentes del modelo. Visual Studio Code se utiliza como entorno de desarrollo integrado (IDE) para escribir y depurar los scripts de C#, asegurando que las interacciones y comportamientos del modelo 3D sean los requeridos en el programa.

2.5.1 Modelado en Blender

Los modelos que se diseñan en Blender corresponden a los equipos de la planta, aquí están incluidos los sensores, actuadores y otros elementos importantes.

Los modelos diseñados tratan de aproximarse en lo posible a los equipos reales, en las Figuras se puede visualizar la representación real de cada módulo:

Los modelos creados en Blender representan los equipos de la planta, abarcando sensores, actuadores y otros componentes esenciales. Estos modelos tratan de aproximarse en lo posible a los equipos reales. La Figura 17 proporciona una visualización del entorno real ubicado en el laboratorio CEDIT de CAPEIPI.

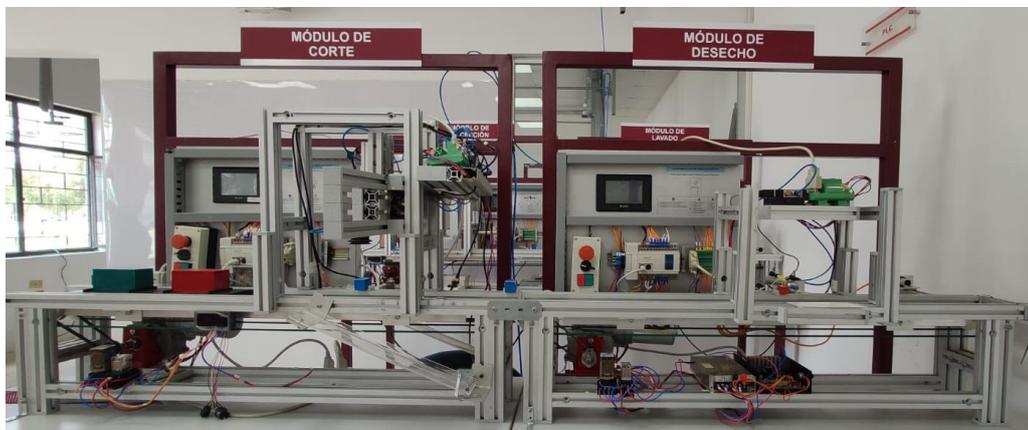


Figura 17. Planta real ubicada en CAPEIPI [16].

2.5.1.1 Sensores

El detalle de los sensores se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Detalle de sensores

Nombre	Ubicación	Descripción	Imagen
Sensor de peso 1	Módulo de corte	Sensor de tipo analógico. Su función es medir el peso de las cajas de papas que ingresan al módulo, es fundamental para asegurar que cada caja cumpla con los requisitos establecidos.	

Sensor de humedad	Módulo de corte	Sensor de tipo analógico. Su función es medir la humedad relativa de las papas, proporcionando datos cruciales para garantizar que el nivel de humedad se mantenga en valores adecuados.	
Sensor inductivo 1	Módulo de corte	Sensor de tipo booleano ubicado al inicio del módulo. Su función es detectar la presencia de una caja de papas al ingresar al sistema.	
Sensor inductivo 2	Módulo de corte	Su función es detectar la presencia de una caja de papas antes de que se ingresen los parámetros en el HMI.	
Sensor magnético 1	Módulo de corte	Su función es detectar la posición del cilindro neumático 2 en el sistema, proporcionando una señal que confirma si el cilindro está en posición de entrada o salida.	
Sensor magnético 2	Módulo de corte	Su función es detectar la posición del cilindro neumático 3 en el sistema, proporcionando una señal que confirma si el cilindro está en posición de entrada o salida.	

Sensor de peso 2	Módulo de desecho	Su función es medir el peso de las cajas de desecho que ingresan al módulo, es fundamental para asegurar que conocer la cantidad de desecho generada en el módulo de corte.	
Sensor inductivo 3	Módulo de desecho	Su función es detectar la presencia de una caja de desechos proveniente de la etapa de corte. Este sensor es esencial para asegurar que la caja de desechos se identifique y gestione correctamente.	
Sensor inductivo 4	Módulo de desecho	Su función es identificar la presencia de una caja de papas que no cumple con los parámetros de peso o humedad. Este sensor ayuda a garantizar que solo las cajas que cumplen con los estándares de calidad continúen en el proceso	
Sensor fotoeléctrico	Módulo de desecho	Su función es detectar cuando una caja de papas ha llegado al término del proceso. Este sensor es esencial para asegurar que el sistema reconozca el completado de cada ciclo de trabajo.	

Sensor magnético 3	Módulo de desecho	Su función es detectar la posición del cilindro neumático 4 en el sistema, proporcionando una señal que confirma si el cilindro está en posición de entrada o salida.	
--------------------	-------------------	---	---

2.5.1.2 Actuadores

El detalle de los actuadores se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Detalle de actuadores

Nombre	Ubicación	Descripción	Imagen
Motor de banda transportadora	Módulo de corte	Su función principal es activar y controlar el movimiento de la banda transportadora. Es esencial para asegurar el desplazamiento continuo y preciso de las cajas de papas a lo largo de la línea de procesamiento.	
Cilindro neumático 1	Módulo de corte	Su función es actuar como una ventosa para mantener adherida la cajas de papas, esperando un empuje por parte de los cilindros neumáticos 2 o 3, de acuerdo con el tipo de corte.	

Cilindro neumático 2	Módulo de corte	Actúa como empuje para la ventosa, facilitando la separación de las cajas de papas con el objetivo de realizar un corte tipo bastón.	
Cilindro neumático 3	Módulo de corte	Actúa como empuje para la ventosa, facilitando la separación de las cajas de papas con el objetivo de realizar un corte tipo chips.	
Válvula electroneumática 1	Módulo de corte	Su función principal es regular el flujo de aire hacia el cilindro neumático 1 (ventosa), permitiendo así el control preciso de su movimiento.	
Válvula electroneumática 2	Módulo de corte	Su función principal es regular el flujo de aire hacia el cilindro neumático 2, permitiendo así el control preciso de su movimiento.	
Válvula electroneumática 3	Módulo de corte	Su función principal es regular el flujo de aire hacia el cilindro neumático 3, permitiendo así el control preciso de su movimiento.	

Válvula electroneumática 4	Módulo de desecho	Su función principal es regular el flujo de aire hacia el cilindro neumático 4, permitiendo así el control preciso de su movimiento.	
Cilindro neumático 4	Módulo de desecho	Actúa para separar las cajas de papas que no cumplen con las condiciones de peso o humedad.	

2.5.1.3 Otros equipos

El detalle de los otros equipos se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Detalle de otros equipos

Nombre	Descripción	Imagen
PLC	Su función principal es recibir y procesar las señales provenientes de los sensores. El PLC las analiza y, basándose en la programación, emite comandos para activar o desactivar actuadores y otros componentes del sistema. Existe 1 en cada módulo.	
HMI	Su función principal es permitir el ingreso y ajuste de parámetros clave del proceso, como el tamaño, el peso y el tipo de corte de papa. Existe 1 en cada módulo.	

2.6 Integración con Unity

Para comenzar, es fundamental descargar el software desde el sitio web de Unity (<https://unity.com/>). Desde allí, se procede a descargar Unity Hub. Una vez dentro de Unity Hub, es necesario ingresar con una cuenta para recibir las credenciales y configurarla en

la plataforma. Luego, se selecciona e instala la versión de Unity deseada. Con el software instalado, se abre un nuevo proyecto en el cual, se importan los equipos y el entorno modelados en Blender (en formato FBX). A partir de aquí, se comienza a trabajar en la interacciones que tendrá el programa. [8]

2.6.1 Diseño de ventanas

En el programa se tienen tres ventanas, a continuación, se detalla la información acerca de cada una de ellas:

- **Primera ventana:** En la Figura 18, se muestra la ventana inicial del programa. En esta pantalla, se presenta el tema correspondiente al presente trabajo y se incluye un botón de "Ingreso" que permite avanzar a la siguiente ventana.

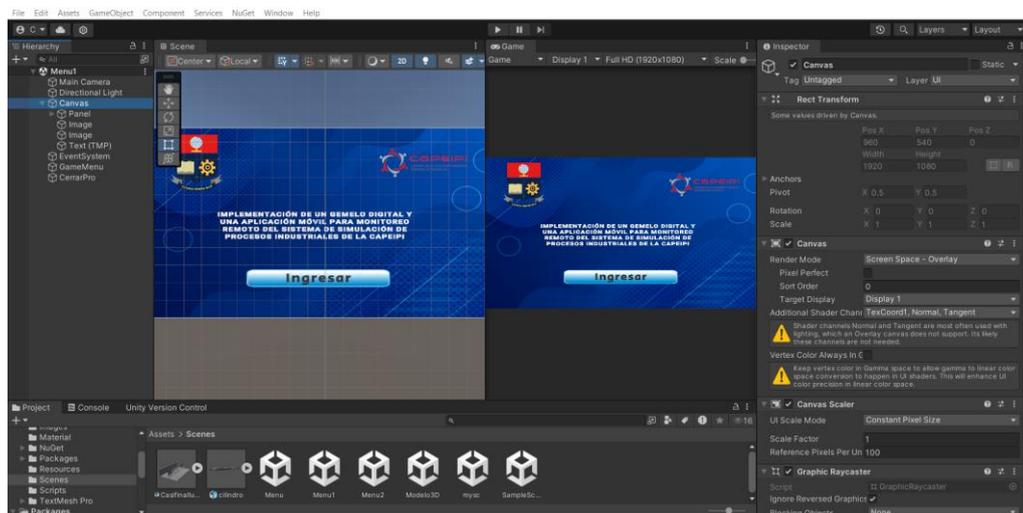


Figura 18. Primera ventana de programa

- **Segunda ventana:** En la Figura 19, se muestra la siguiente ventana del programa. Aquí se presentan las diferentes opciones, para acceder, ya sea hacia el modelo 3D de la planta, hacia la base de datos alojada en Google Sheets o simplemente Salir.

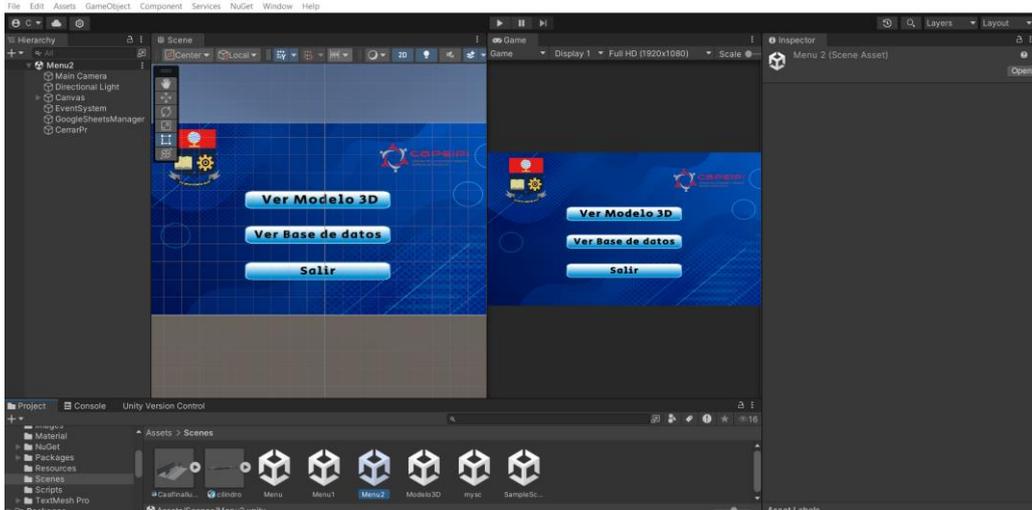


Figura 19. Segunda ventana de programa

- **Tercera ventana:** En la Figura 20, se puede observar el modelo 3D aproximado de la planta, este entorno está conformado por los elementos importados desde Blender, en adición con dos paneles que proporcionan información acerca de los equipos de la planta, estos son desarrollados mediante Canvas.

En el primer panel se muestra el nombre y el estado de los sensores y actuadores, así como su ubicación en la planta, ya sea si pertenecen al proceso de corte o desecho, tal como se observa en la Figura . Este panel lee principalmente la información de la Hoja1 y Hoja2 de la base de datos alojada en Google Sheets.

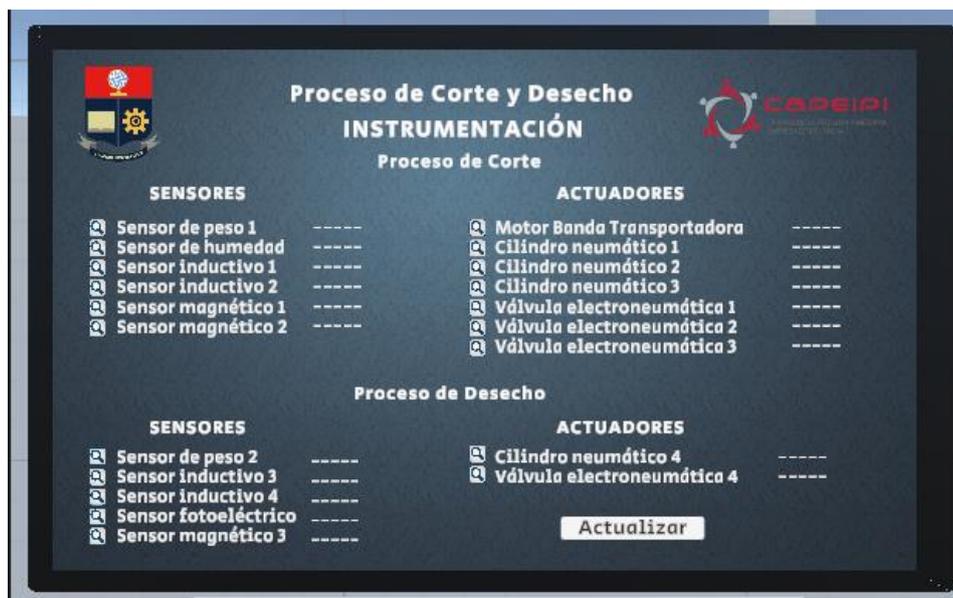


Figura 20. Panel con información de equipos

En el segundo panel se muestra la hoja de trazabilidad [16] (Hoja3 de Google Sheets) como es posible observar en la Figura 21. En esta se muestra la información recogida de todo el proceso en base a la información correspondiente a los sensores y actuadores, simulando la información proporcionada por un PLC real.

GUÍA DE TRAZABILIDAD DEL MÓDULO DE CORTE			
Nombre de Responsable:	Cristian Lema	Fecha:	DD/MM/AA
Código:	201610641		
Lote:	240219001	Peso Total:	- Kg.
		Humedad Total:	- %
Envío a estación de desecho para reproceso:	-	Motivo:	Incumple Peso: - Incumple Humedad: -
Tamaño de papa	Peso unitario	Tipo de corte	Unidades producidas
Grande:	500 gr.	Bastones:	- unidades
Mediano:	1000 gr.	Chips:	-
Pequeño:	-		
GUÍA DE TRAZABILIDAD DEL MÓDULO DE DESECHO			
Nombre de Responsable:	Cristian Lema	Fecha:	DD/MM/AA
Código:	201610641		
Lote:	240219001		
Reprocesamiento			
Incumplimiento:	-	Peso:	- Kg.
		Humedad:	- %
		Validación:	-
		Corrección:	-
Peso total de desecho:	Tipo de corte	Contenido de desecho	
- Kg.	Bastones:	Cáscaras:	-
	Chips:	Trozos de papas:	-
		Sobranes de corte:	-

Figura 21. Panel con información de hoja de trazabilidad

Continuando, se diseña el entorno final y se ubican los equipos tomando como referencia la planta real ubicada en el laboratorio CEDIT de CAPEIPI. En la Figura 22 se observa la parte del modelo en 3D correspondiente al módulo de corte, de igual forma, en la Figura 23 se observa la parte del modelo en 3D correspondiente al módulo de desecho.

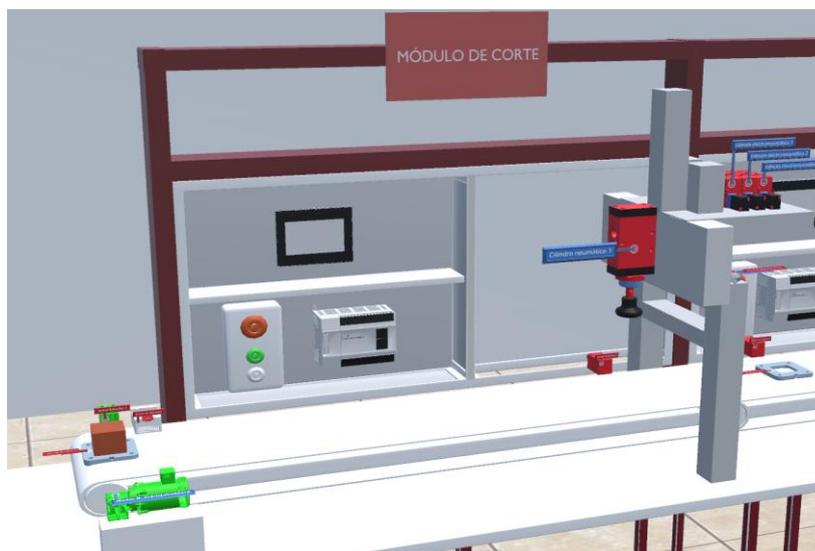


Figura 22. Representación en 3D del módulo de corte

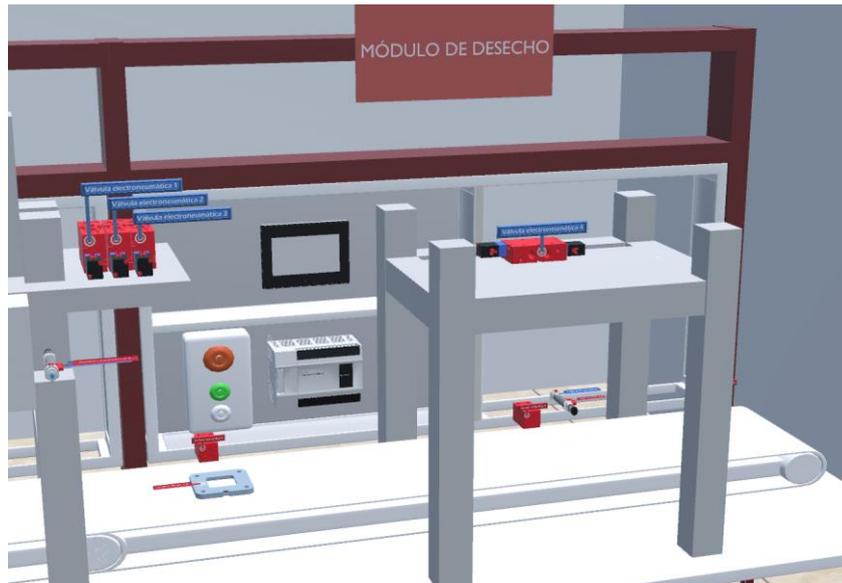


Figura 23. Representación en 3D del módulo de desecho

Para agregar funcionalidad e interacción a los elementos, se utilizan scripts programados mediante Visual Studio Code. En la Figura 24, se pueden observar los scripts desarrollados, los cuales añaden diversas funcionalidades, tales como:

- **Movimiento, rotación y zoom de camera:** Para navegar por el entorno se hace uso de las siguientes teclas: A navegar hacia la izquierda, D navegar hacia la derecha, W navegar hacia arriba, S navegar hacia abajo. Para rotar la cámara: Con botón derecho del mouse. Para realizar zoom: Con scroll del mouse.
- **Intercambio de cámaras:** Mejora la visualización de los equipos en la planta al posicionar diferentes cámaras frente a cada uno. Al presionar la lupa ubicada al lado izquierdo del nombre de cada equipo en el primer panel, se redirige a la cámara especificada para elemento. Para volver a la cámara principal se presiona la tecla P.
- **Ingreso y salida hacia ventanas:** Para acceder a determinada ventana se presiona el botón especificado para cada caso. Si se desea salir de la aplicación se presiona la tecla Esc.
- **Lectura de Google Sheets:** Este script es fundamental para leer la base de datos de los equipos, aquí se debe incluir la librería de Google Apis, para relacionar el cliente de Google Cloud y la API de Google Sheets con Unity.
- **Apertura de URL:** Para abrir de manera inmediata la base de datos presentada en Google Sheets.

- **Parpadeo de objetos:** Si el equipo (de tipo booleano) presenta un error, comienza a parpadear hasta que se corrija el problema.
- **Colorear objetos :** Si el equipo (de tipo booleano) se encuentra encendido (ON), el objeto se pinta de color verde, caso contrario, si se encuentra apagado (OFF), el objeto se colorea de rojo.
- **Actualizar datos:** La actualización se efectúa de manera diferente para cada panel: en el primero, se realiza al dar clic en el botón "Actualizar", mientras que en el segundo panel, se lleva a cabo al presionar la tecla H.

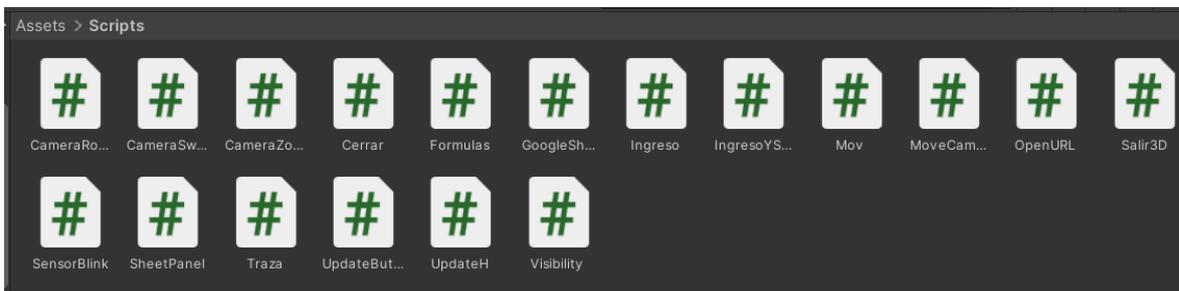


Figura 24. Scripts desarrollados

2.7 Diseño de la aplicación móvil

Para el diseño de la aplicación móvil, se utiliza la plataforma en línea FlutterFlow, que se basa en Flutter de Google. FlutterFlow. La aplicación es fundamental para lograr un acceso rápido y eficiente a la información almacenada en la base de datos en la nube.

Esta app ofrece una interfaz intuitiva y simple, permitiendo a los usuarios consultar datos en tiempo real provenientes de los sensores y actuadores de la planta. Gracias a la integración con Google Cloud, la aplicación puede mostrar información actualizada constantemente, lo que es esencial para la supervisión y control del proceso.

2.7.1 Desarrollo en FlutterFlow

2.7.1.1 Acceso y creación de cuenta

Se accede a <https://app.flutterflow.io>, donde se despliega la página mostrada en la Figura 25. Para comenzar, es esencial iniciar sesión con una cuenta. Si no se tiene una, se puede crear fácilmente proporcionando un correo electrónico o ingresando mediante diversas opciones como Google, Apple, GitHub o Microsoft.

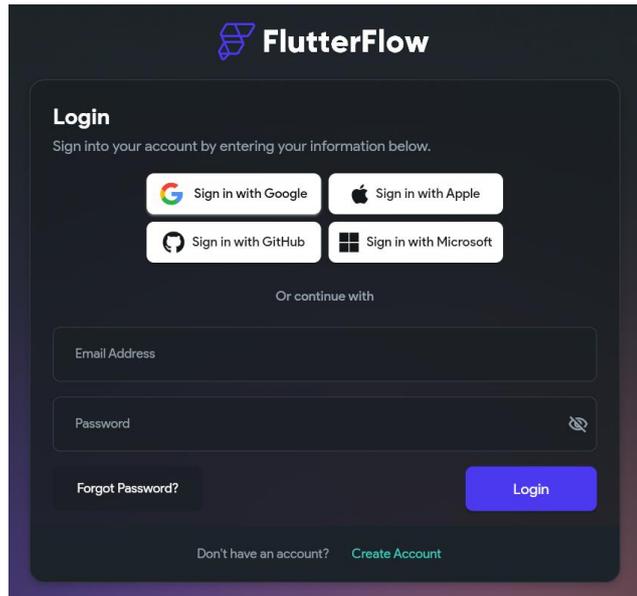


Figura 25. Ingreso a FlutterFlow

2.7.1.2 Creación de proyecto

Una vez dentro, para crear un nuevo proyecto y comenzar a trabajar en la aplicación, se debe hacer click en "Create Project". Luego, se asigna un nombre al proyecto y se elige una plantilla sobre la cual trabajar, como se muestra en la Figura 26. Para los fines de este trabajo, se selecciona la opción "Create Blank" para empezar con una aplicación sin plantilla.

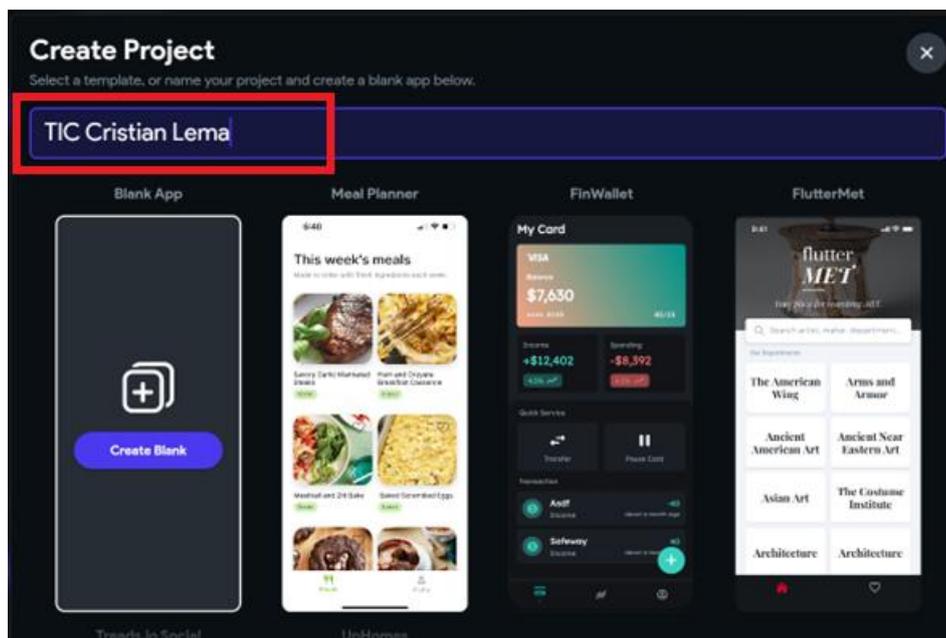


Figura 26. Creación de nuevo proyecto

2.7.1.3 Entorno e ítems importantes

En el entorno de FlutterFlow existen varios apartados que agregan diferentes funcionalidades a la aplicación, a continuación, se explican las características más importantes al momento del desarrollo de la app.

En la Figura 27, se puede observar el entorno de FlutterFlow, de esta manera, los apartados más importantes son:

1. **Widget Palette:** Despliega una variedad de elementos y widgets, esenciales para la construcción de interfaces de usuario, se los añade al entorno de trabajo mediante un sistema de arrastrar y soltar
2. **Page Selector:** Permite una gestión y navegación entre las diferentes páginas de la aplicación, facilitando la organización y proporcionando una vista clara de todas las páginas creadas.
3. **Widget Tree:** Muestra la estructura en base a la jerarquía de los widgets empleados en la página de la aplicación, facilitando la identificación y manipulación de cada uno de los widgets
4. **API Calls:** Permite conectar la aplicación con servicios externos mediante las APIs, facilitando la integración de datos, dentro de la aplicación desarrollada.
5. **Page:** Es la página en donde el usuario se encuentra desarrollando la interfaz, aquí se alojan todos los widgets y demás elementos que dan funcionalidad a la aplicación.
6. **Scaffold:** Proporciona una estructura para la interfaz de la aplicación, aquí se incluyen elementos como la barra de navegación, el cuerpo principal de la página, y otros componentes de interfaz de usuario.

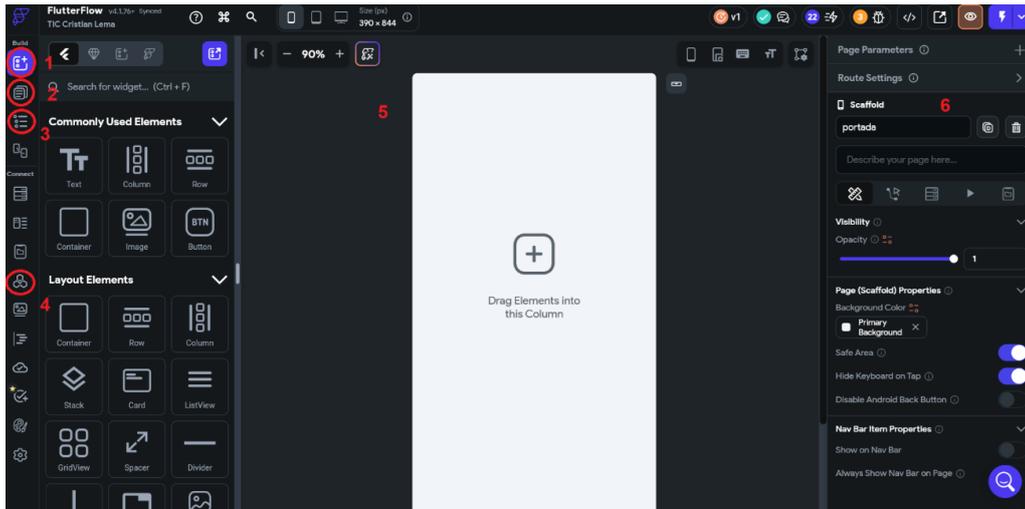


Figura 27. Entorno de FlutterFlow

Otro punto para analizar es el manejo de los widgets, en la Figura 28, se puede observar las diferentes opciones que se tienen para este fin, los más importantes son:

1. **Properties:** Son configuraciones disponibles para personalizar los widgets. Estas propiedades permiten modificar aspectos como el tamaño, color, tipo de letra, margen, padding, y comportamiento.
2. **Actions:** Permiten definir interacciones y comportamientos dentro de la aplicación, pudiendo incluir la navegación entre páginas, actualización de datos, llamadas a APIs, mostrar diálogos, entre otras opciones.
3. **Backend Query:** Permite la interacción con bases de datos y servicios externos para utilizarlos dentro de la aplicación, a través de las APIs.

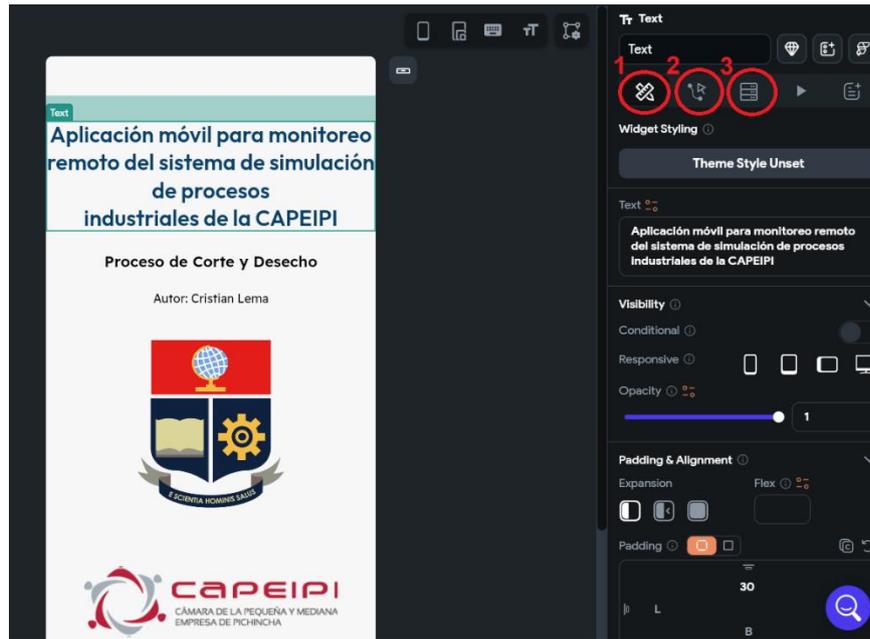


Figura 28. Opciones para configurar widgets

2.7.1.4 Diseño de página de portada

La página de portada, como se muestra en la Figura 29, presenta el título y la información relevante de la aplicación, junto con imágenes de la Escuela Politécnica Nacional y CAPEIPI. En la parte inferior, se encuentra un botón de ingreso que permite el acceso a la siguiente página.

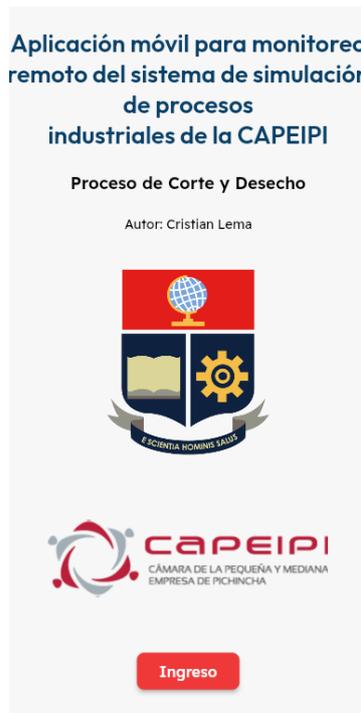


Figura 29. Página de portada

- **Textos:** Utilizando el widget "Text", como se muestra en la Figura 30, es posible trabajar con textos en la aplicación. Una vez arrastrado este elemento al área de trabajo, se pueden asignar el nombre y ajustar las propiedades necesarias según los requisitos específicos como se puede observar en la Figura 31.

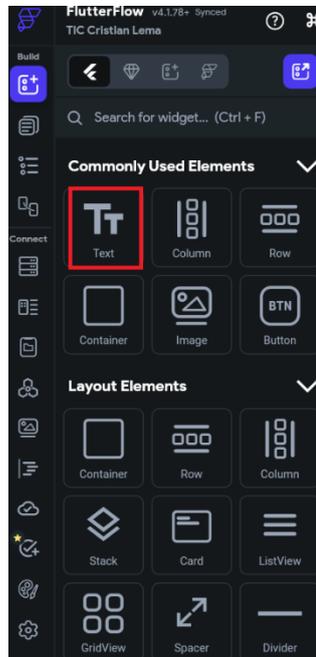


Figura 30. Selección de widget de texto

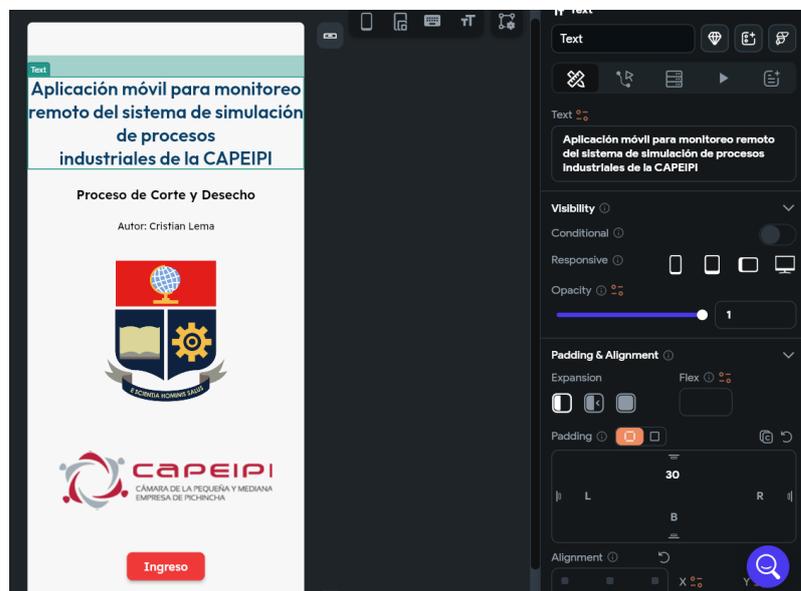


Figura 31. Propiedades del widget de texto

- **Imágenes:** Usando el widget "Image", como se muestra en la Figura 32, se pueden manejar imágenes en la aplicación. Después de arrastrar este elemento al área de trabajo, es fundamental saber cómo añadir una imagen desde un archivo local. En

la Figura 33 se puede visualizar el ítem "Image Type", donde se debe seleccionar la opción "Assets" para agregar un archivo que se encuentra en el PC.

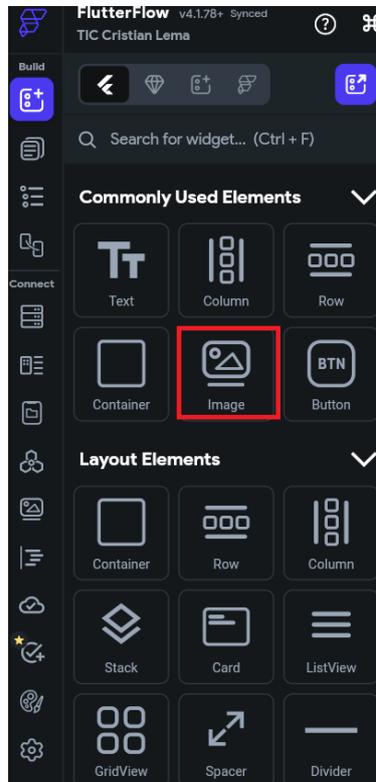


Figura 32. Selección de widget de imagen

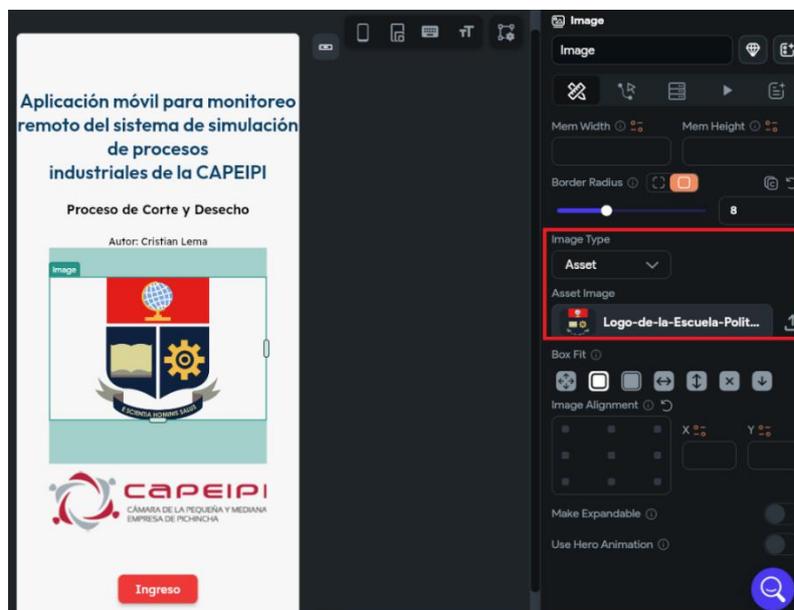


Figura 33. Cargar archivo de imagen local

- **Botón:** Como su nombre lo indica, el widget "Button", visto en la Figura 34, permite gestionar botones dentro de la aplicación. Es crucial agregar funcionalidad a estos botones a través del apartado de "Actions". Aquí, se puede agregar una acción, como "Navigate to", y seleccionar la página correspondiente para habilitar la navegación hacia ella, como es apreciable en la Figura 35.

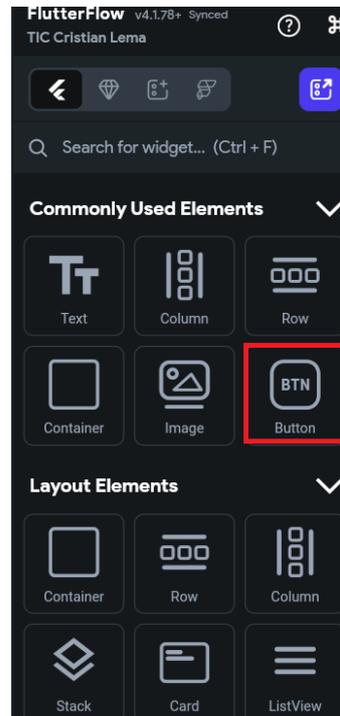


Figura 34. Selección de widget de botón

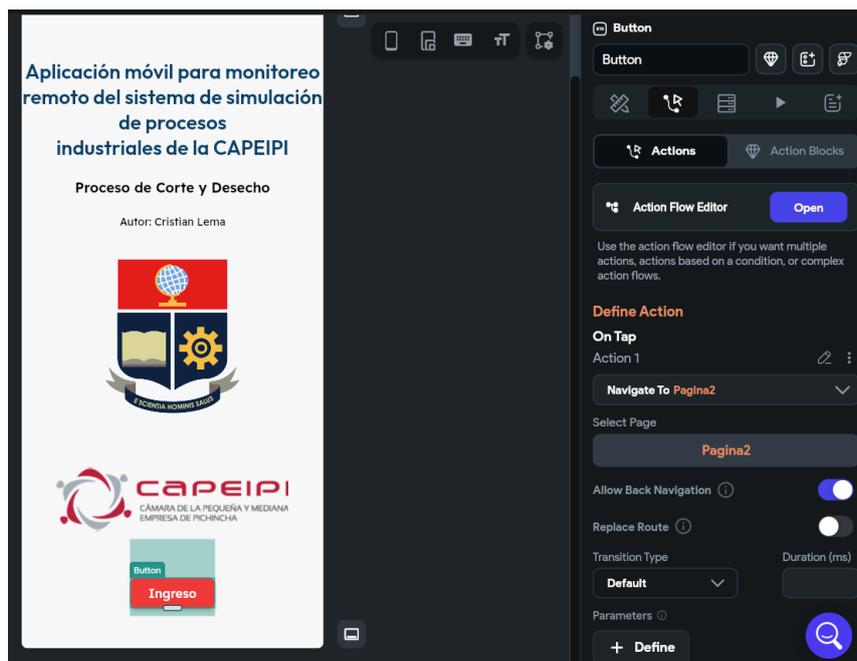


Figura 35. Definir acción de navegación al botón

2.7.1.5 Llamada de API

Aquí se define la llamada API, la cual, permite obtener el detalle de la base de datos de los equipos almacenados en Google Sheets, se configura una API call en FlutterFlow que se conecta a la hoja de cálculo, como se observa en la Figura 36, en ella también se define “Call Definition”, en donde se debe especificar especificar la URL de la API de Google Sheets, obtenida de Google Apps Script . [19]

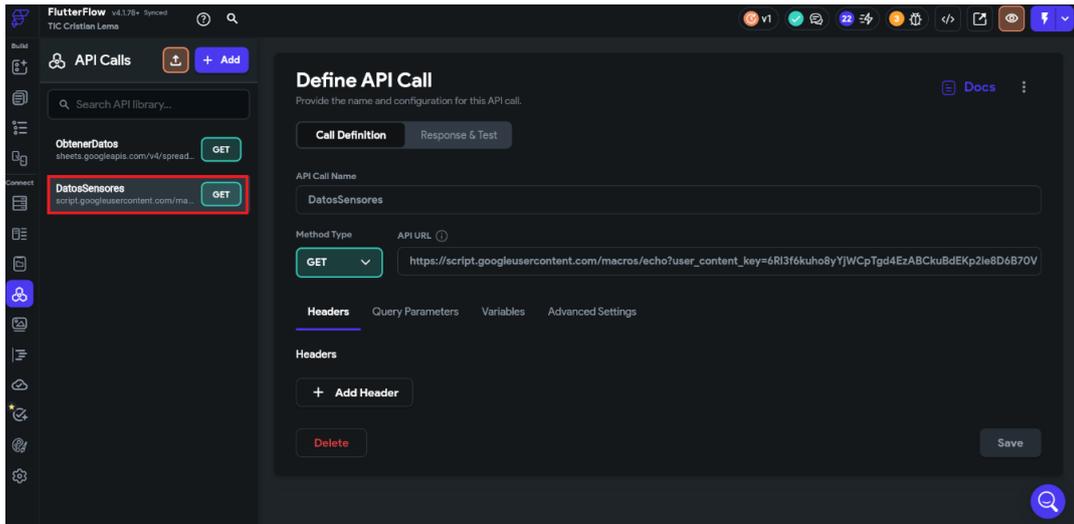


Figura 36. Llamada API

En “Response & Test”, como se muestra en la Figura 37, API call solicita los datos desde Google Sheets y los recibe en formato JSON. Luego, esta información se procesa y se utiliza en la aplicación para mostrar detalles actualizados sobre los sensores, actuadores y otros equipos en la interfaz de usuario.

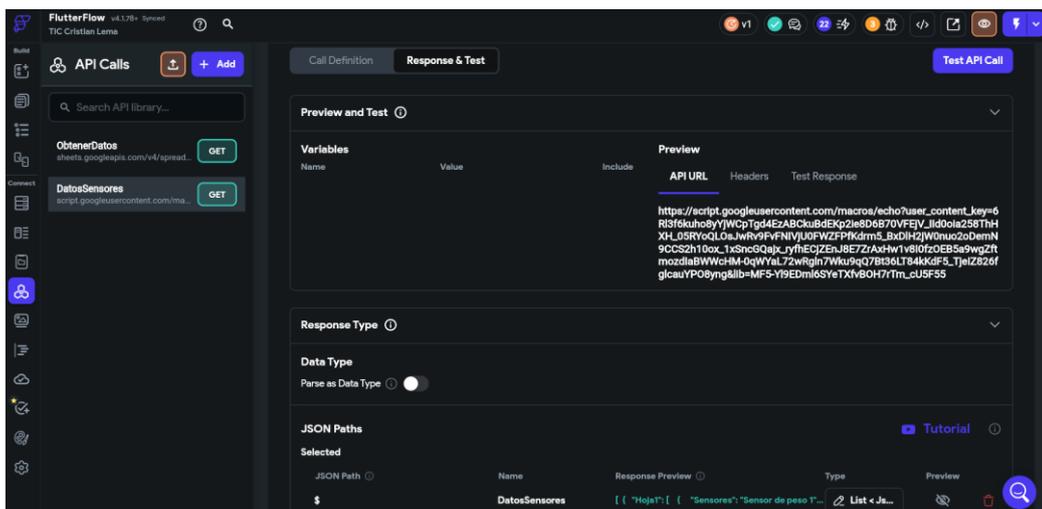


Figura 37. Respuesta y Texto de la llamada API

2.7.1.6 Diseño de página de información de equipos

En esta página, como se muestra en la Figura 38, se presenta la información correspondiente a los equipos. Para los sensores y actuadores, se visualiza su nombre y estado, mientras que para otros equipos se muestra el nombre y la marca. En la misma Figura, se muestran las diferentes partes de la páginas, según el número correspondiente se procede a su explicación:



Figura 38. Página de información

1. **Información de sensores:** En este apartado se muestra toda la información relevante acerca de los sensores, la cual, proviene de la base de datos alojada en Google Sheets.
2. **Información de actuadores:** Al igual que en la sección anterior, con la diferencia que aquí se muestra la información correspondiente a los actuadores
3. **Información de otros equipos:** El PLC y el HMI son considerados como otros elementos, en esta sección se muestra el detalle de cada uno.
4. **Adición de imágenes:** Para este y las siguientes secciones, se trabaja con widgets y opciones importantes, como:
 - **List View:** Permite desplegar una lista de elementos desplazables en la página. Cada elemento de la lista puede incluir otros widgets, como texto o imágenes, como es visible en la Figura 39.

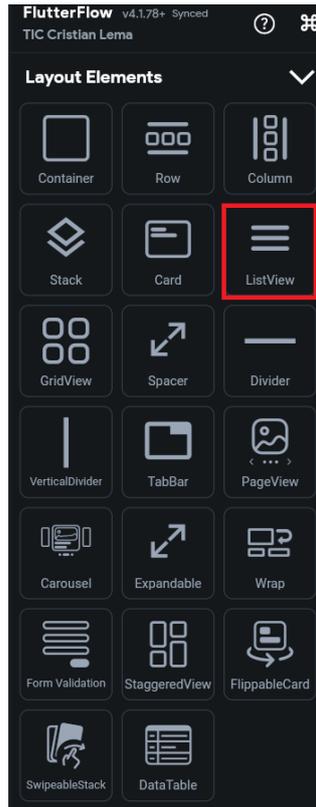


Figura 39. Widget de List View

- Image Type (Network):** En la Figura 40 se puede apreciar esta configuración, este tipo de imagen sirve para acceder a ellas desde una URL en internet. En "Path" se debe introducir la JSON Path, la cual, alberga la lista de imágenes de todos los equipos.

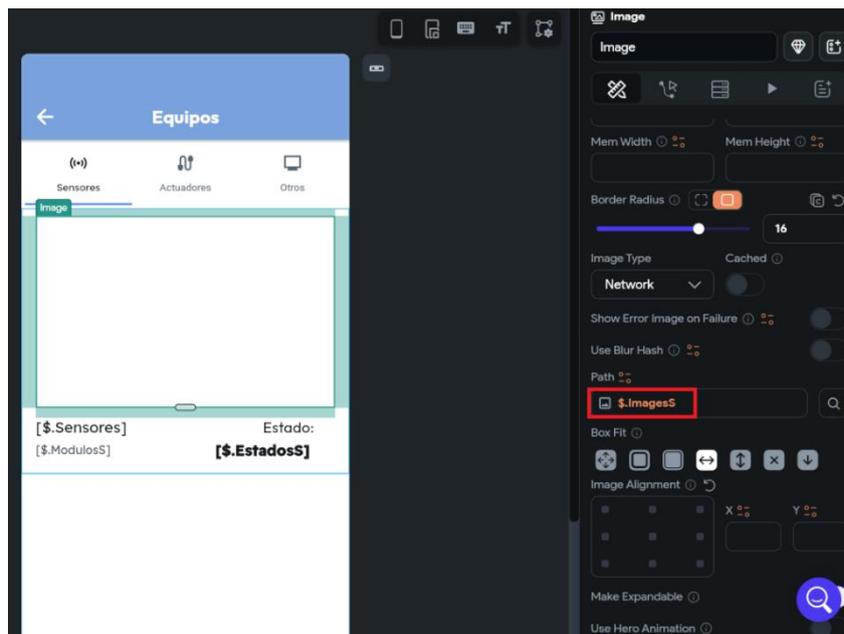


Figura 40. Configuración para imágenes de equipos

5. **Información de nombre de equipo:** En la Figura 41 se puede apreciar esta configuración. En “Text” se debe introducir la JSON Path, la cual, alberga la lista de los nombres de los equipos, ya sea sensores, actuadores u otros.

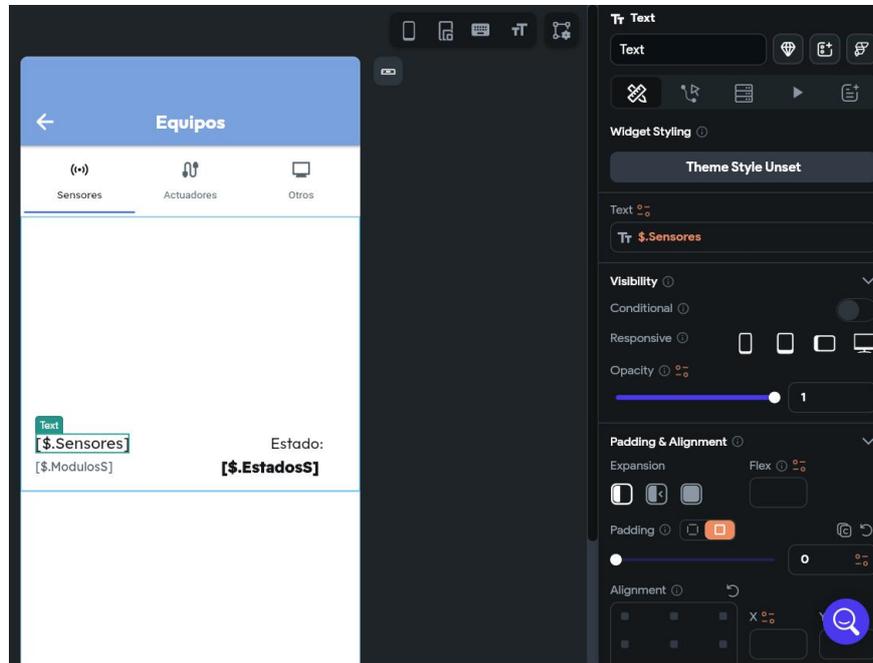


Figura 41. Configuración para nombre de equipos

6. **Información de módulo:** En la Figura 42 se puede apreciar esta configuración. En “Text” se debe introducir la JSON Path, la cual, alberga el módulo de la planta en donde se encuentran los equipos.

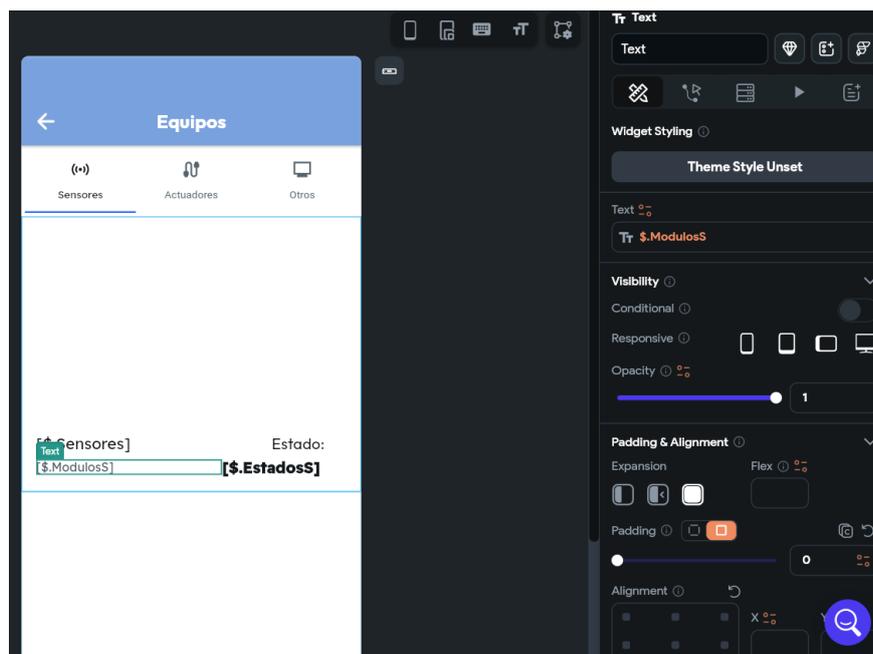


Figura 42. Configuración para módulos de equipos

7. **Información de estado:** En la Figura 43 es visible esta configuración. En “Text” se debe introducir la JSON Path, la cual, alberga el estado de los equipos.

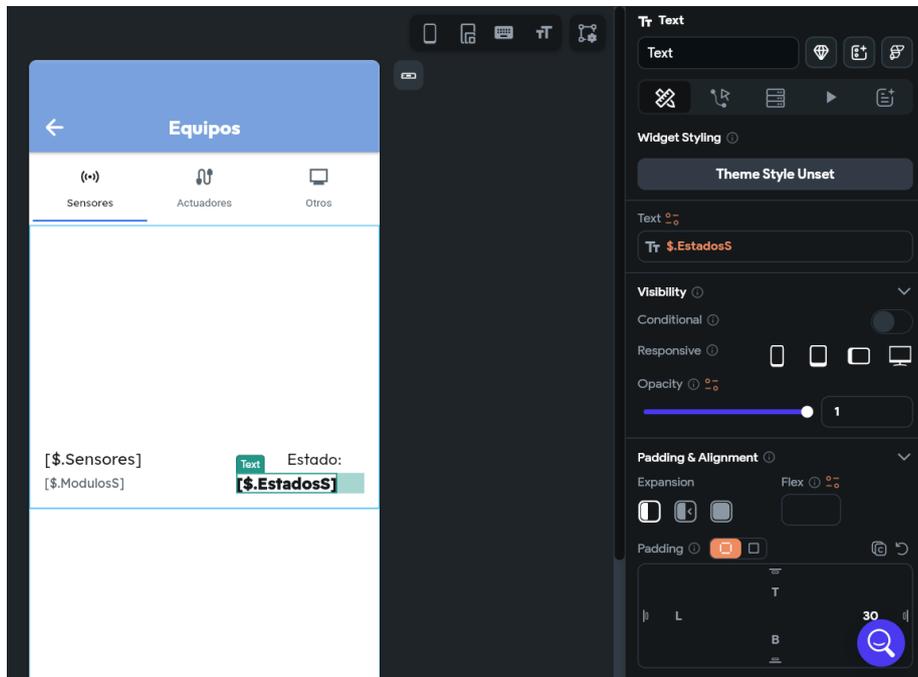


Figura 43. Configuración para estados de los equipos

8. **Actualización de información:** Se emplea el widget "FloatingActionButton" que permite actualizar el contenido de la información de los equipos directamente desde la base de datos. En la Figura 44, se observa la configuración necesaria para lograr la acción de actualizar, en “Action Flow Editor” se debe de concatenar las acciones de “Refresh Database Request” de las ListView de sensores y actuadores

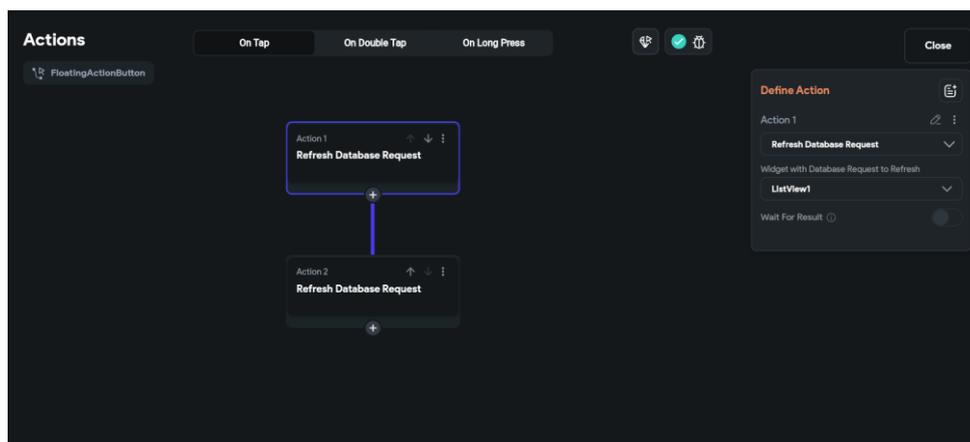


Figura 44. Configuración de acción para actualizar la información de los equipos

2.8 Código QR para descarga de aplicación

El archivo APK de la aplicación se aloja en una carpeta de Google Drive. Para facilitar el acceso a este archivo, se convierte el enlace en un código QR. Para este fin existen varias herramientas en línea para la generación de códigos QR, en esta ocasión se ha optado por emplear TinyWow. En la Figura 45 se muestra el código QR generado, que redirige directamente a la descarga automática del archivo APK en Google Drive.



Figura 45. Código QR para descargar aplicación

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

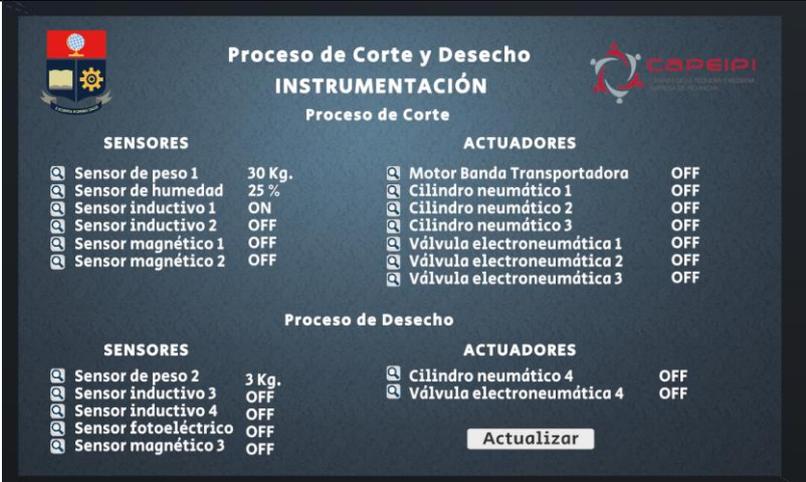
3.1 Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos tanto del gemelo digital, así como también de la aplicación móvil.

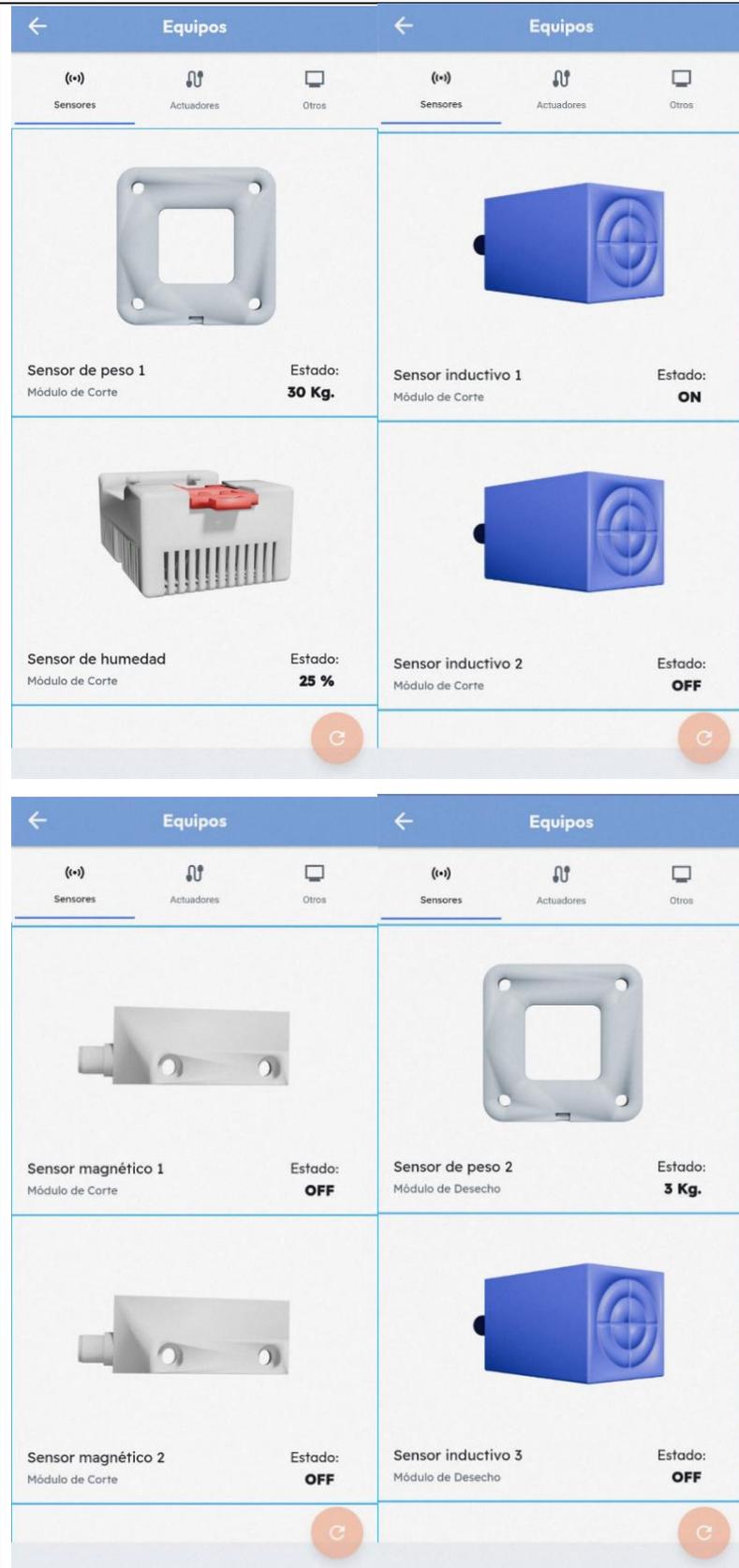
En la Tabla 4, se presenta el estado de los equipos, la lectura del panel de estados en el gemelo digital y el la información de los equipos en la aplicación móvil.

Como primer caso de estudio se tiene, el comienzo del proceso. En este punto, el sensor inductivo 1 se encuentra en “ON”, el sensor de peso 1 brinda una lectura de 30 Kg., el sensor de humedad mide 25%, los demás elementos se encuentran en “OFF”.

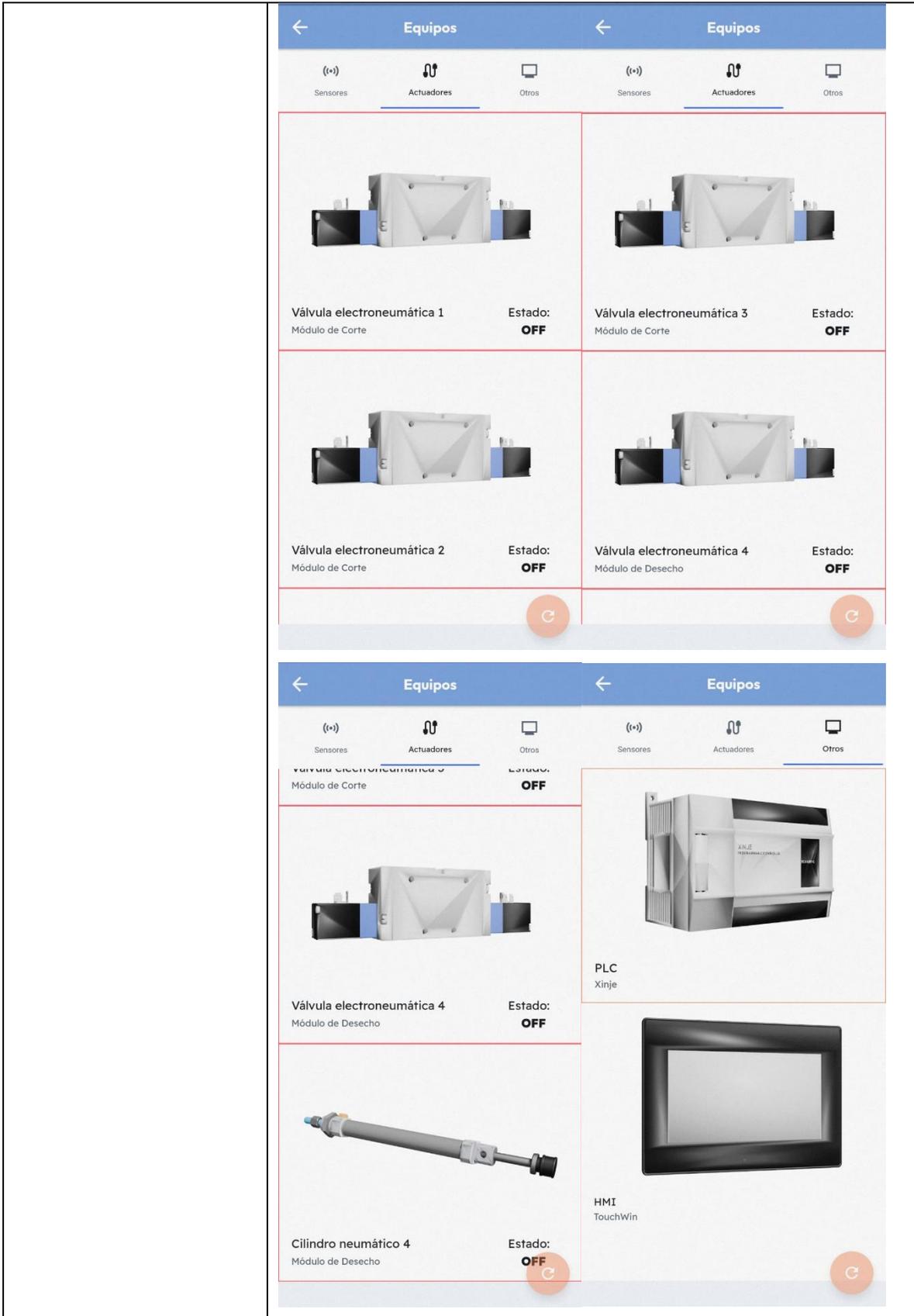
Tabla 4. Resultados al inicio del proceso

Equipos	Información de sensores	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Sensores</th> <th>Estado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sensor de peso 1</td> <td>30 Kg.</td> </tr> <tr> <td>Sensor de humedad</td> <td>25 %</td> </tr> <tr> <td>Sensor inductivo 1</td> <td>ON</td> </tr> <tr> <td>Sensor inductivo 2</td> <td>OFF</td> </tr> <tr> <td>Sensor magnético 1</td> <td>OFF</td> </tr> <tr> <td>Sensor magnético 2</td> <td>OFF</td> </tr> <tr> <td>Sensor de peso 2</td> <td>3 Kg.</td> </tr> <tr> <td>Sensor inductivo 3</td> <td>OFF</td> </tr> <tr> <td>Sensor inductivo 4</td> <td>OFF</td> </tr> <tr> <td>Sensor fotoeléctrico</td> <td>OFF</td> </tr> <tr> <td>Sensor magnético 3</td> <td>OFF</td> </tr> </tbody> </table>	Sensores	Estado	Sensor de peso 1	30 Kg.	Sensor de humedad	25 %	Sensor inductivo 1	ON	Sensor inductivo 2	OFF	Sensor magnético 1	OFF	Sensor magnético 2	OFF	Sensor de peso 2	3 Kg.	Sensor inductivo 3	OFF	Sensor inductivo 4	OFF	Sensor fotoeléctrico	OFF	Sensor magnético 3	OFF
	Sensores	Estado																								
Sensor de peso 1	30 Kg.																									
Sensor de humedad	25 %																									
Sensor inductivo 1	ON																									
Sensor inductivo 2	OFF																									
Sensor magnético 1	OFF																									
Sensor magnético 2	OFF																									
Sensor de peso 2	3 Kg.																									
Sensor inductivo 3	OFF																									
Sensor inductivo 4	OFF																									
Sensor fotoeléctrico	OFF																									
Sensor magnético 3	OFF																									
Información de actuadores	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Actuadores</th> <th>Estado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Motor Banda Transportadora</td> <td>OFF</td> </tr> <tr> <td>Cilindro neumático 1</td> <td>OFF</td> </tr> <tr> <td>Cilindro neumático 2</td> <td>OFF</td> </tr> <tr> <td>Cilindro neumático 3</td> <td>OFF</td> </tr> <tr> <td>Válvula electroneumática 1</td> <td>OFF</td> </tr> <tr> <td>Válvula electroneumática 2</td> <td>OFF</td> </tr> <tr> <td>Válvula electroneumática 3</td> <td>OFF</td> </tr> <tr> <td>Válvula electroneumática 4</td> <td>OFF</td> </tr> <tr> <td>Cilindro neumático 4</td> <td>OFF</td> </tr> </tbody> </table>	Actuadores	Estado	Motor Banda Transportadora	OFF	Cilindro neumático 1	OFF	Cilindro neumático 2	OFF	Cilindro neumático 3	OFF	Válvula electroneumática 1	OFF	Válvula electroneumática 2	OFF	Válvula electroneumática 3	OFF	Válvula electroneumática 4	OFF	Cilindro neumático 4	OFF					
Actuadores	Estado																									
Motor Banda Transportadora	OFF																									
Cilindro neumático 1	OFF																									
Cilindro neumático 2	OFF																									
Cilindro neumático 3	OFF																									
Válvula electroneumática 1	OFF																									
Válvula electroneumática 2	OFF																									
Válvula electroneumática 3	OFF																									
Válvula electroneumática 4	OFF																									
Cilindro neumático 4	OFF																									
Gemelo digital	Programa PC																									

Aplicación móvil



<p>← Equipos</p> <p>Sensores (4) Actuadores Otros</p> <div data-bbox="683 421 890 555"> </div> <p>Sensor inductivo 4 Módulo de Desecho</p> <p>Estado: OFF</p>	<p>← Equipos</p> <p>Sensores (4) Actuadores Otros</p> <p>Módulo de Desecho OFF</p> <div data-bbox="1093 459 1252 616"> </div> <p>Sensor fotoeléctrico Módulo de Desecho</p> <p>Estado: OFF</p> <div data-bbox="699 728 858 884"> </div> <p>Sensor fotoeléctrico Módulo de Desecho</p> <p>Estado: OFF</p> <div data-bbox="1045 806 1268 896"> </div> <p>Sensor magnético 3 Módulo de Desecho</p> <p>Estado: OFF</p>
<p>← Equipos</p> <p>Sensores Actuadores (4) Otros</p> <div data-bbox="662 1265 885 1400"> </div> <p>Motor Banda Transportadora Módulo de Corte</p> <p>Estado: OFF</p>	<p>← Equipos</p> <p>Sensores Actuadores (4) Otros</p> <div data-bbox="1005 1310 1340 1400"> </div> <p>Cilindro neumático 2 Módulo de Corte</p> <p>Estado: OFF</p> <div data-bbox="718 1556 790 1736"> </div> <p>Cilindro neumático 1 Módulo de Corte</p> <p>Estado: OFF</p> <div data-bbox="1005 1612 1340 1702"> </div> <p>Cilindro neumático 3 Módulo de Corte</p> <p>Estado: OFF</p>



En el gemelo digital también se pueden visualizar más funcionalidades, las cuales, proporcionan un mayor nivel de detalle y precisión a la implementación.

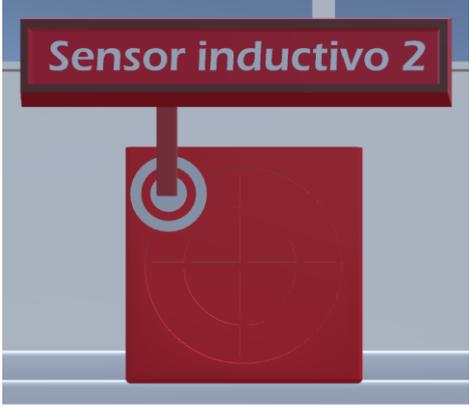
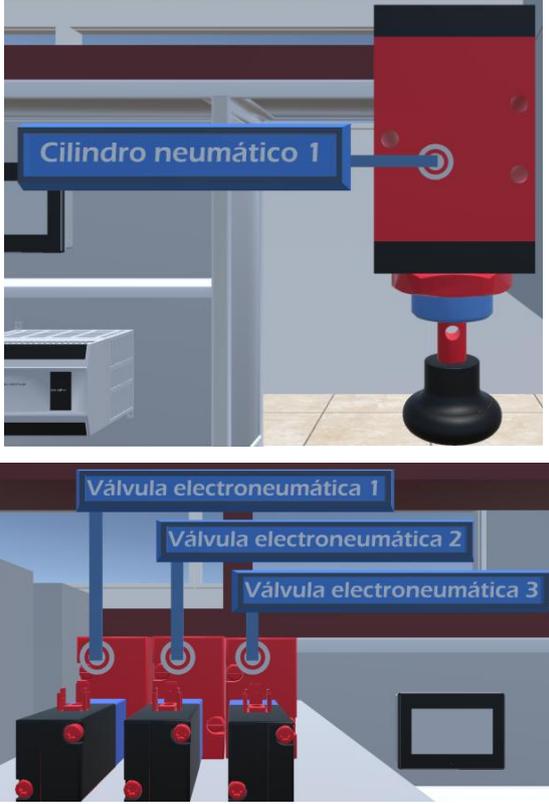
En la Figura 46 se muestra el panel dedicado a la hoja de trazabilidad. Este panel refleja fielmente la información recopilada desde los sensores y actuadores del sistema. La precisión en la lectura de datos garantiza que el detalle de cada equipo sea registrado de manera confiable, permitiendo una trazabilidad exacta y un control eficiente de la operación.

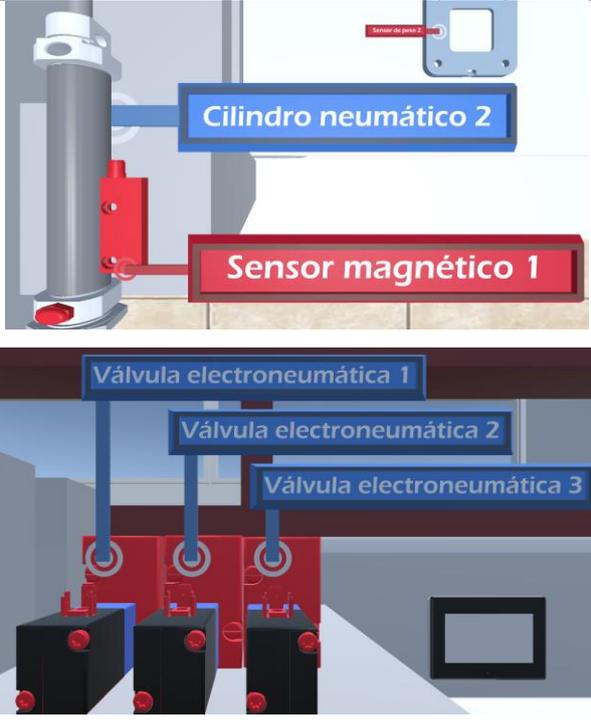
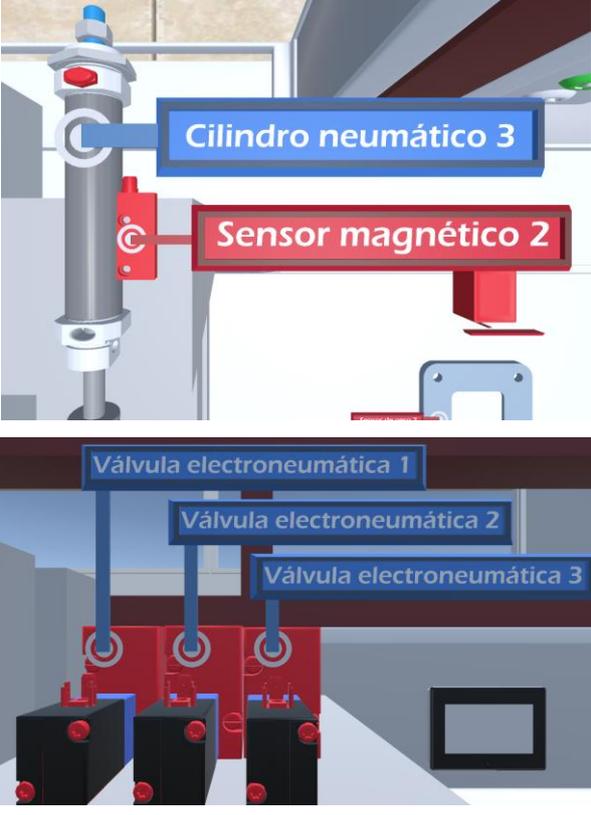
GUÍA DE TRAZABILIDAD DEL MÓDULO DE CORTE			
			
Nombre de Responsable:	Cristian Lema	Fecha:	7/30/2024
Código:	201610641		
Lote:	240219001	Peso Total:	30.00 Kg. Humedad Total: 25.00 %
Envío a estación de desecho para reproceso:		Motivo:	Incumple Peso: Incumple Humedad:
Tamaño de papa	Peso unitario	Tipo de corte	Unidades producidas
Grande: ✓	500 gr. ✓	Bastones: ✓	97 unidades
Mediano: -	1000 gr.	Chips: -	
Pequeño: -			
GUÍA DE TRAZABILIDAD DEL MÓDULO DE DESECHO			
Nombre de Responsable:		Cristian Lema	Fecha: 7/30/2024
Código:		201610641	
Lote:		240219001	
Reprocesamiento			
Incumplimiento	Peso:	30.00 Kg.	Validación
	Humedad:	25.0 %	Corrección -
Peso total de desecho: 3.00 Kg.	Tipo de corte		Contenido de desecho
	Bastones: ✓		Cáscaras ✓
	Chips: -		Trozos de papas ✓
			Sobrantes de corte ✓

Figura 46. Panel de trazabilidad

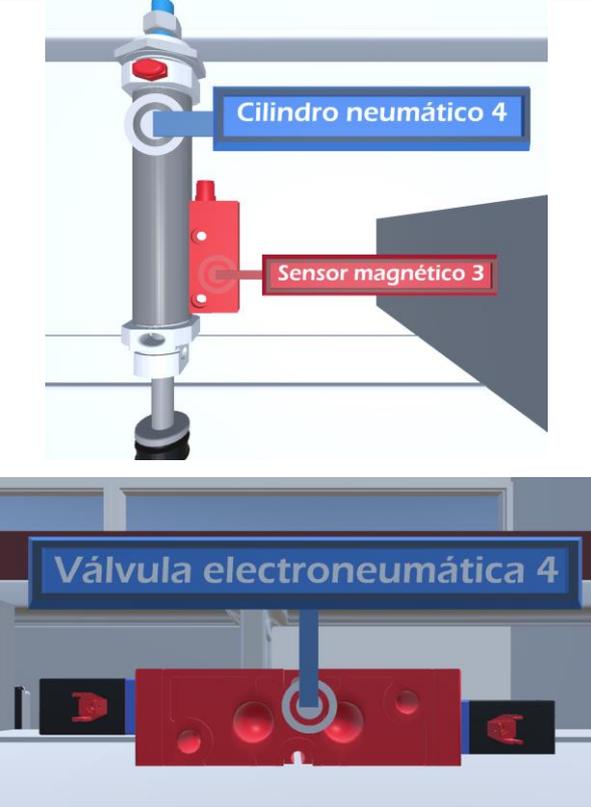
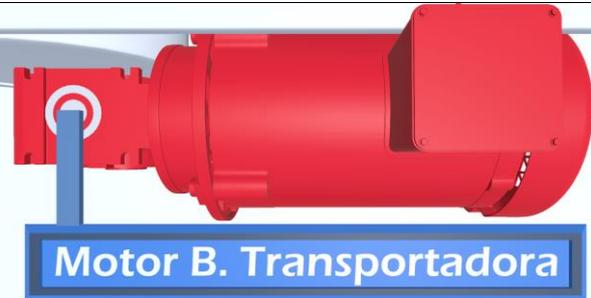
Asimismo, se visualiza el color de los objetos según su estado. Un estado "ON" pinta el objeto de color verde, mientras que un estado "OFF" lo colorea de rojo. En la Tabla 5 se muestra el objeto coloreado de acuerdo con su estado, proporcionando una representación visual clara del estado operativo de cada componente del sistema, para el caso de los cilindro neumáticos 2, 3 y 4, la tuerca coloreada representa el estado en el que se encuentra.

Tabla 5. Estado y respectivo color de cada equipo.

Equipo	Estado	Imagen
Sensor inductivo 1	ON	
Sensor inductivo 2	OFF	
Cilindro neumático 1 y válvula electroneumática 1	OFF	

<p>Sensor magnético 1, cilindro neumático 2 y válvula electroneumática 1</p>	<p>OFF</p>	 <p>The diagram shows a vertical pneumatic cylinder (Cilindro neumático 2) with a red magnetic sensor (Sensor magnético 1) attached to its side. Below the cylinder, three solenoid valves (Válvula electroneumática 1, 2, and 3) are connected to a manifold. The valves are shown in a closed state, and the cylinder is in its retracted position.</p>
<p>Sensor magnético 2, cilindro neumático 3 y válvula electroneumática 2</p>	<p>OFF</p>	 <p>The diagram shows a vertical pneumatic cylinder (Cilindro neumático 3) with a red magnetic sensor (Sensor magnético 2) attached to its side. Below the cylinder, three solenoid valves (Válvula electroneumática 1, 2, and 3) are connected to a manifold. The valves are shown in a closed state, and the cylinder is in its retracted position.</p>

<p>Sensor inductivo 3</p>	<p>OFF</p>	 <p>Sensor inductivo 3</p> <p>A red square sensor with a white circular target symbol is mounted on a wall. A red label above it reads 'Sensor inductivo 3'. To the right, a green circular object and a white circular object are visible on the wall.</p>
<p>Sensor inductivo 4</p>	<p>OFF</p>	 <p>Sensor inductivo 4</p> <p>A red square sensor with a white circular target symbol is mounted on a wall. A red label above it reads 'Sensor inductivo 4'.</p>
<p>Sensor fotoeléctrico</p>	<p>OFF</p>	 <p>Sensor fotoeléctrico</p> <p>A red cylindrical sensor is mounted on a wall. A red label above it reads 'Sensor fotoeléctrico'.</p>

<p>Sensor magnético 3, cilindro neumático 4 y válvula electroneumática 4</p>	<p>OFF</p>	
<p>Motor Banda Transportadora</p>	<p>OFF</p>	

Los siguientes casos de funcionamiento se muestran en video, en el enlace disponible en anexos.

3.2 Conclusiones

La integración de diversas plataformas como Google Sheets, Google Apps Script, FlutterFlow, Blender y Unity ha permitido la creación de un gemelo digital de nivel 2 basado en la planta real ubicada en el laboratorio CEDIT de CAPEIPI, la función principal de este gemelo digital es la lectura de información tomada directamente de la nube, sin embargo, se adiciona la capacidad de edición, demostrando las amplias posibilidades y el potencial que ofrecen estas herramientas al trabajar en conjunto.

Google Sheets permite la creación de una base de datos accesible y fácil de gestionar, mientras que Google Apps Script añade automatización y lógica avanzada. FlutterFlow aporta en la creación de una aplicación informativa y llamativa para dispositivos móviles Android. Blender y Unity, por su parte, agregan visualización e interacción en 3D, proporcionando complejidad y detalle al gemelo digital.

La visualización en 3D, realizada con Blender y Unity ofrece la capacidad de intercambiar cámaras para obtener diferentes perspectivas de los equipos mejorando significativamente la comprensión del estado y el funcionamiento de los equipos de la planta. Los modelos 3D proporcionan una representación aproximada de los equipos reales, mejorando así la experiencia al navegar por el entorno 3D.

En FlutterFlow fue posible la creación de la aplicación móvil, permitiendo que los usuarios accedan y visualicen la información de los equipos de manera rápida. La llamada API para actualizar datos en tiempo real asegura que la información desplegada en la aplicación esté siempre actualizada. Para la descarga rápida de la aplicación se emplea el código QR, esta tecnología no solo mejora la experiencia de descarga, sino que también asegura que la aplicación llegue de manera efectiva a su público objetivo.

Las funcionalidades adicionales implementadas, como el cambio de color de los objetos según su estado y la gestión automatizada de errores, añaden un nivel de detalle que permite a los operadores identificar rápidamente cualquier anomalía y tomar medidas correctivas. De esta manera, el parpadeo de un objeto para indicar un error proporciona una señal visual de alarma, que indica que debe de corregirse de manera inmediata.

El resultado final es un gemelo digital funcional y detallado que replica de manera óptima los procesos y el estado de la planta real, lo que permite concluir que se alcanza los objetivos trazados al inicio de este trabajo. La implementación de gemelos digitales abre nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia en la gestión de los procesos y su posterior desarrollo en la industria ecuatoriana.

3.3 Recomendaciones

Se recomienda realizar varias pruebas para validar el correcto funcionamiento del gemelo digital. Esto permitirá identificar y corregir posibles fallos o errores, asegurando una operación acertada.

Al implementar gemelos digitales en la industria, se debe realizar un análisis exhaustivo de todos los equipos que conforman la planta real, de esta manera, es posible representarlo en el modelo 3D y dotar a los mismos de interacción y relación con todo el entorno.

Para mejoras futuras del presente trabajo se recomienda implementar medidas robustas de seguridad de datos, dado que el gemelo digital maneja información sensible y crucial para el funcionamiento de la planta.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. De Prada, S. Galán-Casado, J. L. Pitarch, D. Sarabia, A. Galán y G. Gutiérrez, «Gemelos Digitales en la Industria de Procesos,» *Rev. iberoam. autom. inform. ind.*, vol. 19, nº 3, pp. 285-296, 2022.
- [2] J. Elipe, «¿Hasta dónde puede llegar un Gemelo Digital en arquitectura? - BIM BIM2VR,» BIM2VR, 27 Abril 2022. [En línea]. Available: <https://bim2vr.es/blog-construccion-digital-gemelo-digital-grados-madurez/>. [Último acceso: 15 Julio 2024].
- [3] I. Errandonea, S. Beltrán y S. Arrizabalaga, «Digital Twin for maintenance: A literature review,» *Computers in Industry*, vol. 123, p. 103316, 2020.
- [4] M. Varas Chiquito, J. García Plua, M. Bustamante Chong y C. Bustamante Chong, «Gemelos digitales y su evolución en la industria,» *RECIMUNDO*, vol. 4, nº 4, pp. 300-308, Nov 2020.
- [5] F. Tao, B. Xiao , Q. Qi, J. Cheng y P. Ji, «Digital twin modeling,» *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 64, pp. 372-389, 2022.
- [6] «Digital Twin Scanning and Mapping Services | Arrival 3D,» Arrivak 3D, 06 May 2023. [En línea]. Available: <https://arrival3d.com/digital-twin/>. [Último acceso: 16 July 2024].
- [7] P. S. Pérez, Manual de modelado y animación con Blender, Universidad de Alicante, 2011.
- [8] A. Okita, Learning C# Programming with Unity 3D, New York: A K Peters/CRC Press, 2019.
- [9] D. Baron, Game development patterns with Unity 2021: explore practical game development using software design patterns and best practices in Unity and C#, Second ed., Birmingham Mumbai: Packt, 2021.
- [10] «Descripción general de la API de Hojas de cálculo de Google | Google Sheets,» Google for Developers, [En línea]. Available:

<https://developers.google.com/sheets/api/guides/concepts?hl=es-419>. [Último acceso: 15 Julio 2024].

- [11] «Apps Script,» Google for Developers, [En línea]. Available: <https://developers.google.com/apps-script?hl=es-419>. [Último acceso: 17 July 2024].
- [12] Datademia, «¿Qué es Google Cloud Platform?,» 04 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://datademia.es/blog/que-es-google-cloud-platform>. [Último acceso: 15 Julio 2024].
- [13] D. Brajesh, «API Management,» de *API Management*, Berkeley, CA, Apress, 2017, pp. 15-28.
- [14] «Revisión de FlutterFlow 2024: ventajas, desventajas y seguridad | RapidDevelopers,» [En línea]. Available: <https://www.rapidevelopers.com/review/flutterflow-es>. [Último acceso: 16 Julio 2024].
- [15] «How to Get, Parse, Query, and Return JSON • Trevor Fox,» Trevor Fox, 07 February 2017. [En línea]. Available: <https://trevorfox.com/2017/02/how-to-get-parse-query-and-return-json/>. [Último acceso: 17 July 2024].
- [16] S. S. Ching-yin Law, «QR Codes in Education,» *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, vol. 3, nº 1, 2010.
- [17] «Tinywow, la mejor herramienta online para editar y convertir archivos,» La Sexta, 18 Febrero 2022. [En línea]. Available: https://www.lasexta.com/tecnologia-tecnoplora/internet/tinywow-mejor-herramienta-online-editar-convertir-archivos_20220218620fd65c7879d80001f61375.html. [Último acceso: 17 Julio 2024].
- [18] B. J. Calvopina, «Rehabilitación, diseño e implementación de la línea de simulación de procesos industriales de la CAPEIPI: rehabilitación, diseño, desarrollo e implementación del proceso de corte y desecho de residuos para la cadena de procesamiento de papas dentro del si,» EPN, Abril 2024. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25452>. [Último acceso: 15 Julio 2024].
- [19] T. Hunter y S. Porter, *Google Cloud Platform for Developers: Build highly scalable cloud solutions with the power of Google Cloud Platform*, Packt Publishing Ltd, 2018.

[20] «Crear credenciales de acceso | Google Workspace,» Google for Developers., [En línea]. Available: <https://developers.google.com/workspace/guides/create-credentials?hl=es-419>. [Último acceso: 15 Julio 2024].

[21] «FlutterFlow y Google Sheets: Cómo Mostrar Datos en tu App Sin Escribir Código,» FlutterFlow Community, 26 Febrero 2024. [En línea]. Available: <https://community.flutterflow.io/community-tutorials/post/flutterflow-y-google-sheets-como-mostrar-datos-en-tu-app-sin-escribir-ZyQQParcZNf2eWg>. [Último acceso: 15 Julio 2024].

5 ANEXOS

ANEXO I. Enlace a Proyecto

ANEXO I. ENLACE A PROYECTO

El enlace dirige a una carpeta en la nube que contiene tanto el video que demuestran el funcionamiento del proceso para los modos que no se trataron en la sección de resultados, así como el programa y aplicación móvil, necesarias para la ejecución del presente trabajo.

[CRISTIAN LEMA TIC 2024A](#)