

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA ELECTRÓNICA E INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:
APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA PARA VISUALIZAR
VARIABLES EN PROCESOS INDUSTRIALES**

**AUTORES:
GABRIELA FERNANDA CHILQUINGA TIERRA
JUAN CARLOS MOLINA ANDRADE**

**TUTOR:
GUSTAVO JAVIER CAIZA GUANOCHANGA**

Quito, febrero del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Juan Carlos Molina Andrade, con documento de identificación N° 1723363162 y Gabriela Fernanda Chiliquina Tierra con documento de identificación N° 1716970635, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico intitulado: “ APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA PARA VISUALIZAR VARIABLES EN PROCESOS INDUSTRIALES”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera Electrónica e Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Gabriela Fernanda Chiliquina Tierra
C.I. 1716970365



Juan Carlos Molina Andrade
C.I. 1723363162

Quito, febrero de 2020.

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo Académico, “APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA PARA VISUALIZAR VARIABLES EN PROCESOS INDUSTRIALES”, realizado por Gabriela Fernanda Chiliquinga Tierra y Juan Carlos Molina Andrade, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, febrero de 2020



Gustavo Jávier Caiza Guanochanga

C.I. 1721192191

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado, primero, a Dios que es el dueño de todo el universo el mismo que me ha infundido inteligencia y fuerzas para culminar esta meta.

A mis padres Laura y Fernando por brindarme su apoyo incondicional en cada aspecto de mi vida con su más sincero amor.

Y, por último, a mis profesores y compañeros por guiarme con su sabiduría y por los momentos compartidos durante nuestra formación profesional.

Gabriela

En primer lugar, agradezco a Dios por proveerme de inteligencia y perseverancia para cumplir el sueño de terminar mi carrera universitaria.

A mis padres Juan y Fabiola quienes han dedicado su vida para poder regalarme la oportunidad de tener una carrera profesional y salir adelante.

A mis hermanos por su apoyo incondicional y por cada momento que compartimos durante nuestro crecimiento personal.

Finalmente, y no menos importante a mis profesores y compañeros que siempre estuvieron ahí con su conocimiento, paciencia y dedicación prestos para mí.

Juan Carlos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por su amor incondicional pilar fundamental para lograr mis metas, a mis familiares y compañeros por su cariño y consejos durante todo este proceso para que culmine los estudios en Ingeniería Electrónica en la Universidad Politécnica Salesiana.

Agradezco al Ingeniero Gustavo Caiza, MSc. quien con su conocimiento ha guiado este Artículo Académico hasta su culminación.

Gabriela

Agradezco a mis familiares, docentes y amigos por los consejos y buenos deseos brindados hacia mi persona para culminar la Carrera de Ingeniería Electrónica en la Universidad Politécnica Salesiana. A mis padres que, a través de su amor y compañía, han guiado mi camino para llegar a cumplir una meta importante en mi vida.

Agradezco al Ingeniero Gustavo Caiza, MSc. por brindarme su conocimiento y consejos para culminar este trabajo académico.

Juan Carlos

Aplicación de Realidad Aumentada para visualizar variables en Procesos Industriales

Juan Carlos Molina
Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
jmolinaa1@est.ups.edu.ec

Gabriela Chilingua
Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
gchilingua@est.ups.edu.ec

Gustavo Caiza
Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
gcaiza@ups.edu.ec

Resumen— En los últimos años se ha observado el incremento del uso de herramientas virtuales en diferentes áreas como: educación, turismo o seguridad industrial. La realidad aumentada (AR) permite la correlación del mundo real con objetos virtuales para que los usuarios tengan información adicional del entorno que los rodea complementando el aprendizaje y experiencia del usuario. El presente trabajo muestra las etapas de desarrollo de una aplicación AR, que caracteriza y envía la información en tiempo real de los sensores industriales, el reconocimiento de objetos utilizando un análisis tridimensional debido a la geometría holográfica de la estación MPS PA Compact Workstation, la aplicación móvil combina varias plataformas de desarrollo como: Visual Studio, Android Studio Unity y Vuforia. La información fue enviada a través de una comunicación wifi que accede a la dirección URL brindada por la nube Particle Cloud, esta dirección presenta la información del sensor en formato Json.

Palabras Claves— realidad aumentada, comunicación inalámbrica, sensores industriales, aplicación AR, reconocimiento de objetos.

Abstract— In last years there has been an increase in the use of virtual tools in different areas such as: education, tourism or industrial security. Augmented reality (AR) allows the correlation between real world and virtual objects so that users have additional information about their surroundings complementing the user's learning and experience. The present work shows the phases of development of an AR application, that characterizes and sends information of the industrial sensors in real-time, the object recognition using a three-dimensional analysis due to the holographic geometry of the MPS PA Compact Workstation station, the application mobile combines several development platforms such as: Visual Studio, Android Studio Unity and Vuforia. The information was sent through a Wi-Fi communication that accesses the URL provided by the Particle Cloud, this address presents the sensor information in Json format. **Keywords**— realidad aumentada, comunicación inalámbrica, sensores industriales, aplicación AR, reconocimiento de objetos.

Keywords— augmented reality, Wireless communication, industrial sensors, application AR, object recognition.

I. INTRODUCCIÓN.

En la actualidad, el uso de herramientas virtuales tiene un gran desarrollo en el entretenimiento, turismo y educación. La realidad aumentada forma parte de las herramientas que permite combinar el mundo real con datos virtuales, potenciando los sentidos con los cuales se percibe la realidad, esto se logra a través de la información que existe en el mundo digital, por medio de distintos soportes tecnológicos como tablets y teléfonos móviles, así actúa como un lente con el cual se ve el mundo [1][2]. Además, se han realizado varios

estudios en los que se investiga el impacto en el aprendizaje de las personas y se ha demostrado que facilita la comprensión y la retención de largo plazo [3]. Integrar la experiencia del mundo real con canales virtuales permite mejorar la adquisición de información en tiempo real [2]. Además, gracias a la aparición de teléfonos inteligentes se ha desarrollado aplicaciones para interactuar con Realidad Aumentada que ayudan al usuario a reconocer objetos en su entorno mediante cámaras y software para obtener información real y complementarla con información adicional virtual en la pantalla de su dispositivo móvil [4]. La Realidad Aumentada Industrial (IAR), es una de las tecnologías que proporcionan herramientas de apoyo a los operadores para emprender tareas, ayudando en el montaje, asistencia, visualización, interacción, control de calidad y gestión de materiales [5]. Por otro lado, esta tecnología puede ser aplicada para proyectar la apariencia visual de un prototipo al enfocar directamente sobre un modelo físico [6], también se puede presentar información adicional y dinámica a los operarios o personal técnico, además de crear aplicaciones para el mantenimiento, programación y ensamblaje de equipos [7]. En el área de mantenimiento se debe tener en cuenta los complejos requisitos ambientales, regulativos y económicos que deben cumplir las aplicaciones de soporte con Realidad Aumentada [5]. En la actualidad, existen relativamente pocas investigaciones en el desarrollo de aplicaciones AR enfocadas en la caracterización de equipos industriales y adquisición de datos en tiempo real. La caracterización tiene como finalidad determinar el funcionamiento de un elemento para conocer los datos técnicos del fabricante para operarlos de manera correcta y segura [8].

El presente trabajo desarrolla una aplicación AR que permite caracterizar elementos industriales a través del reconocimiento de objetos, al mismo tiempo que presenta datos de procesos en tiempo real. La aplicación fue puesta a prueba en el módulo MPS PA Compact Workstation, el mismo que permite implementar procesos industriales reales, cuenta con sensores y actuadores analógicos o digitales, un PLC que permite realizar varios sistemas de control tales como: control de nivel, caudal, presión o temperatura. Para el reconocimiento de imágenes y la generación de elementos AR se utilizó los softwares Vuforia, Unity, Visual Studio y Android Studio, mientras que para la adquisición de datos se utilizó una placa electrónica de desarrollo IoT denominada particle photon, durante el proceso se adquieren los datos de los sensores analógicos y digitales, los mismos que son enviados a través de una conexión wifi a la nube particle cloud para ser visualizados en un dispositivo móvil, una vez reconocido el objeto la aplicación AR despliega el nombre del elemento y los valores de las variables obtenidos en tiempo real. Además, mediante un botón de información se accede a una breve caracterización de los datos técnicos del sensor, con

el fin de brindar al usuario una perspectiva global del elemento identificado.

El artículo está organizado de la siguiente manera: En la sección II se describe los materiales y métodos utilizados, en la sección III se muestra el diseño e implementación, la sección IV muestra los resultados y finalmente la sección V proporciona las conclusiones.

MARCO METODOLÓGICO.

A. Realidad Aumentada.

La realidad aumentada combina el mundo físico con objetos virtuales e incrementa la percepción del mundo para el usuario, de tal manera, se exterioriza una perspectiva realista de ambos escenarios como si se tratara de elementos reales [9]. La realidad aumentada permite que los usuarios tengan información adicional de entornos reales, lo que la convierte en una herramienta útil para la programación, mantenimiento, capacitación, seguridad y prevención en determinados entornos de trabajo [10]. Asimismo, está relacionada con la tecnología de realidad virtual que presenta algunas características comunes como la inclusión de modelos virtuales gráficos 2D (dos dimensiones) y 3D (tres dimensiones) [2].

B. Vuforia Development.

Vuforia es un entorno web donde los usuarios pueden crear y administrar sus marcadores. Este software es capaz de crear objetos y textos 3D que se almacenan en la nube de los usuarios. A continuación, se detallan algunas de sus funciones [11]:

a) *Reconocimiento de Imágenes:* Los marcos seleccionados se sometieron a un punto de referencia en sus competencias planas de reconocimiento de imágenes.

b) *Calificación Estrella-Objeto:* Los objetivos de imagen se detectan en función de las características naturales que se extraen de su destino para compararlas en tiempo de ejecución con características de las imágenes en vivo. La calificación de estrellas de un objetivo varía entre 1 y 5 estrellas. Para obtener los mejores resultados, es necesario manejar objetos con 4 o 5 estrellas.

TABLA I. ATRIBUTOS PARA LA CALIFICACIÓN ESTRELLA-OBJETO [11].

Atributo	Ejemplo
Rico en detalle	Escena callejera, grupo de personas, collages y mezclas de artículos o escenas deportivas
Buen contraste	Tiene regiones brillantes y oscuras, está bien iluminado y no tiene brillo ni color.
Sin patrones repetitivos	Campo de hierba, el frente de una casa moderna con ventanas idénticas y otras cuadrículas y patrones regulares.

c) *Reconocimiento de Objetos:* Es una representación digital de las características y la geometría física de un objeto, a diferencia del reconocimiento de imágenes que necesita el uso de una imagen de origen plana, este tipo de reconocimiento es ideal para objetos 3D rígidos. El objeto sometido a análisis debe ser opaco, rígido, contener pocas partes móviles, estar en interiores bajo luz moderadamente

brillante y difusa, la superficie del objeto debe ser iluminada de manera uniforme y no contener sombras.

C. Unity.

Es un motor multiplataforma desarrollado por Unity Technologies. Utiliza el lenguaje C, C++ y C Sharp compatible con Microsoft. Unity posee apartados scripts con múltiples librerías para el diseño gráfico. Al crear un proyecto en Unity se generan varias carpetas como: library (almacena las librerías utilizadas), projectSettings (incluye archivos de configuración de las mecánicas de Unity), obj (archivos relacionados con el compilador), assets (archivos de las escenas creadas por el desarrollador) [12].

D. Visual Studio.

Visual Studio es un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) programado en C++ y C Sharp de Microsoft. Puede ser instalado en sistemas Microsoft Windows y Mac OS. Soporta lenguajes de programación como C++, C#, Visual Basic .NET, F#, Java, Python, Ruby, PHP y ASP.NET, entre otros. Unity 3D tiene la capacidad de trabajar con Visual Studio Community [13]. Visual Studio permite crear aplicaciones web en cualquier entorno que soporte la plataforma .NET que proporciona un lenguaje de nivel superior que genera la gramática para comunicarse con la computadora. [14]. Los aspectos más importantes de la codificación de un programa en Visual Studio son: instrucciones (pasos individuales a ser ejecutados), instrucciones de control de flujo (permiten crear bucles, condiciones y saltos en el código), variables (contenedores de datos que pueden ser de manera general textos, números o booleanos), asignación (colocar el nombre de una variable a la izquierda de un operador de asignación para que los datos se acumulen en esa variable), llamadas a función (bloques de funciones escritos previamente, condensados en un solo nombre) [13].

E. MPS PA Compact Workstation.

MPS PA es una estación de trabajo para la formación técnica que utiliza problemas prácticos de aplicaciones operativas reales. Al mismo tiempo, proporciona la plataforma perfecta para analizar, comprender y dominar la interacción de la mecánica, la neumática, la ingeniería eléctrica, la tecnología de control y las interfaces de comunicación [15]. Los sensores y actuadores digitales y analógicos junto con el PLC brindan cuatro lazos cerrados de control que incluyen: Control de nivel, caudal, presión y temperatura. Las funciones de cada sistema de circuito cerrado son el resultado de la combinación manual de válvulas y programación del PLC [15].

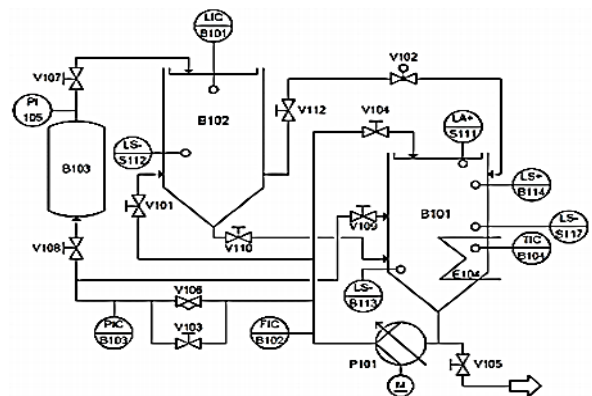


Fig. 1. Diagrama de Instrumentación- MPS PA Compact Workstation [19].

En la Tabla 2 se detallan los datos técnicos más importantes de los sensores y actuadores utilizados en la aplicación AR.

TABLA II. VALORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE DE LOS SENSORES Y ACTUADORES .

Elemento	Descripción
Sensor Capacitivo	Funcionamiento: -Digital (0/24) Vdc.
Sensor Ultrasónico	Funcionamiento: -Analógico (0-10) Vdc.
Sensor de Temperatura	Incorpora una PT100, cuenta con un funcionamiento Analógico: (0-10) Vdc relación lineal con temperatura (0°-100°) C
Bomba	Funcionamiento: -Analógico (0-10) Vdc. -Digital (0/24) Vdc.
Calefactor	Funcionamiento: -Analógico (0-10) Vdc. -Digital (0/24) Vdc.

F. Particle Photon.

Es una placa de desarrollo IoT, cuenta con un microcontrolador ARM Cortex M3 de 120Mhz con un chip Broadcom Wi-Fi de tamaño pequeño. Particle Photon proporciona un servicio gratuito en la nube Particle Cloud, cuenta con una API REST compatible con IDE web y locales. Tiene 18 GPIO de señal mixta, además de un LED RGB indicador del estado de conexión de la placa. La alimentación del Photon se suministra a través del pin VIN, el voltaje debe regularse entre 3.6VDC-5.5VDC. El consumo de corriente promedio es de 80mA con Wi-Fi activado. Cuenta con un ADC de 12 Bits.

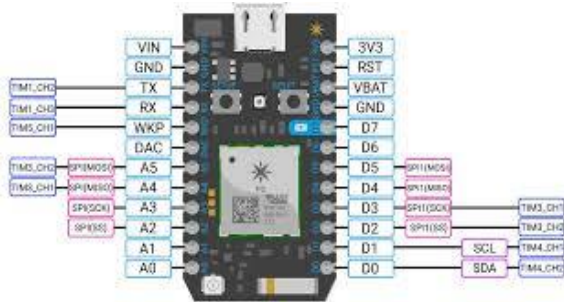


Fig. 2. Diagrama de Pines Particle Photon.

II. DISEÑO.

El proceso inicia con la toma de datos de los sensores industriales que funcionan en rangos de voltaje superiores a los del microcontrolador, por tal motivo se diseñó una etapa de acondicionamiento de señal a través de un divisor de voltaje que permita obtener 3Vdc en los sensores digitales y un rango de voltaje de (0-3.27) Vdc en los sensores analógicos.

Para el desarrollo de la aplicación AR se utilizó una computadora con las siguientes herramientas: Unity permite desarrollar el entorno gráfico; Visual Studio Community posibilita la programación en lenguaje C para crear varias pantallas o animaciones; Vuforia Development permite generar el reconocimiento de objetos, Android Studio la creación de una aplicación instalable en un dispositivo móvil compatible con Android, particle photon toma las señales de los sensores industriales las procesa para enviarlas a través de

wifi hacia internet y presentar los datos adquiridos. La “Fig. 3” describe el proceso general del desarrollo de la aplicación.

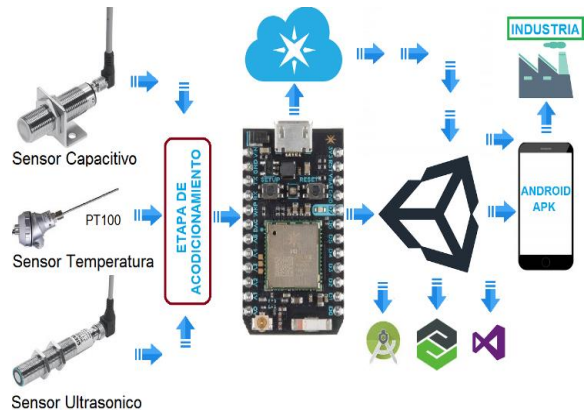


Fig. 3. Diagrama de Proceso de ejecución - Aplicación AR.

A. Reconocimiento de Imágenes.

Para este caso se utilizó un análisis tridimensional a través de Vuforia Scanner, el plano mostrado en la “Fig. 4” actúa como un marcador, es decir una superficie de reconocimiento de objetos 3D sobre la que se observan los ejes X, Y, Z del sistema de coordenadas del escáner.

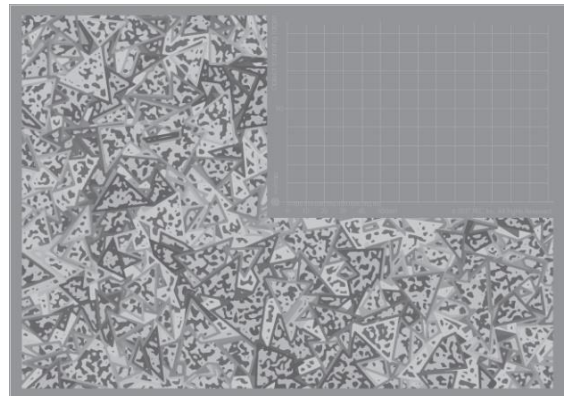


Fig. 4. Plano de Reconocimiento Vuforia Scanner.

Empleando la aplicación “scanner” de Vuforia, la cámara reconoce la superficie del objeto, identificando los patrones de reconocimiento de la geometría tridimensional del elemento analizado (puntos), “scanner” posee 2 botones TEST y CONT SCAN, que permiten abrir la cámara nuevamente para realizar un testeo sobre la identificación del objeto y saber si fue exitosa. La “Fig. 5” muestra el escaneo de la unidad del calefactor.

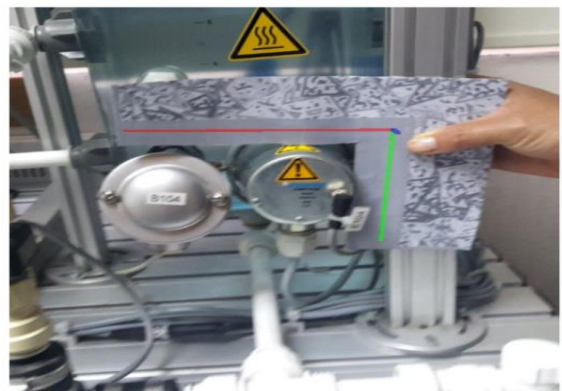


Fig. 5. Sistema de Coordenadas Tridimensional Vuforia Escaner.

En la “Fig. 6” se puede observar las zonas marcadas en color verde como las de mayor identificación para el scanner, que equivale a 254 puntos generados principalmente en el sector de la tubería de agua.

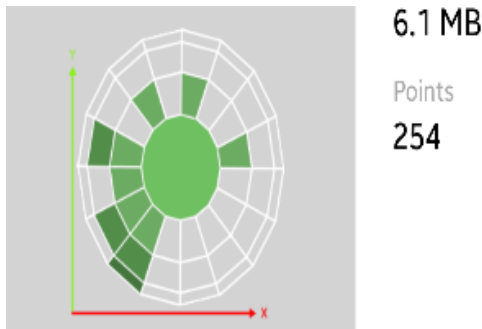


Fig. 6. Zonas de mayor reconocimiento - Vuforia Escaner.

B. Configuración Particle Photon.

La placa de desarrollo photon perteneciente a la empresa particle utiliza una red móvil o fija que establece una conexión inalámbrica entre el microcontrolador y el ordenador, con la finalidad de acceder al api rest de particle cloud donde se programa las instrucciones a ejecutar, creando una dirección URL, que será usada en la adquisición de datos. Particle photon es capaz de manejar hasta 20 variables analógicas y/o digitales, es decir genera hasta 20 URLs que permiten visualizar la lectura de las variables. Una vez establecida la conexión a internet se debe generar un token. Con el token asignado y el ID del dispositivo se realiza la lectura de la variable y mediante la asignación de un nombre se accede al valor de la variable que entrega una respuesta favorable (true) indicando un resultado exitoso.

```

7 double adc1;
8 double adc2;
9 int leer1,leer2;
10
11 double valor1;
12 double valor2;
13
14 void setup() {
15   Particle.variable("Ultrasonico", &valor1, DOUBLE);
16   Particle.variable("Temperatura", &valor2, DOUBLE);
17   Particle.variable("capacitivo1", &leer1, INT);
18   Particle.variable("capacitivo2", &leer2, INT);
19   delay(5);
20   pinMode(Anog0, INPUT);
21   pinMode(Anog1, INPUT);
22   pinMode(dig4, INPUT);
23   pinMode(dig5, INPUT);
24 }
25
26 void loop() {
27   adc1 = analogRead(Anog0);
28   valor1 = (adc1/446.4);
29   delay(1);
30   adc2 = analogRead(Anog1);
31   valor2 = (adc2/40.58); //Valor escalado de temperatura
32   //valor2 = (adc2/2110)*22;
33   delay(1);
34   leer1 = digitalRead(dig4);
35   delay(1);
36   leer2 = digitalRead(dig5);
37   delay(1);
38
39 }

```

Fig. 7. API REST (Entorno de Desarrollo de Particle Photon).

C. Configuración Unity.

Se selecciona la plataforma Android que permite compilar APK (Android aplicación package), se habilita las extensiones de Vuforia y Visual Studio compatibles con Android para que la aplicación pueda realizar un escaneo 2D y 3D.

Mediante textos 3D se agregó un script llamado “Lectura” que permite tomar los datos de la nube particle cloud, estableciendo una comunicación inalámbrica Wifi para visualizar los datos en el smartpone.

En la “Fig. 8” se puede observar los elementos necesarios para la creación de botones. El botón se agrega sobre un recuadro blanco que define la dimensión de la pantalla (canvas), los recuadros azules indican que una imagen debe ser colocada sobre el apartado SourceImage para convertirse

en el icono del botón. Mientras que, los recuadros color naranjas muestran cómo crear el evento del botón, mediante un Script que se inserta en la opción ButtonScripts.



Fig. 8. Creacion de evento en Botones – Unity.

Para la caracterización, se utilizó un script que permite abrir una nueva escena que indica la información técnica más importante de cada sensor, ya sea de tipo analógico o digital, es importante recalcar que este botón solo aparece después que la aplicación ejecuto el reconocimiento de objetos.

D. Animaciones Tridimensionales.

La implementación de animaciones permite que la aplicación de realidad aumentada sea interactiva, por tal motivo se incluyó una animación tridimensional para cada sensor, para representar las animaciones se recurrió a Unity Assets Store. La representación de nivel de agua se realizó a través del asset Easy Water, la variación de esta animación depende del cambio en el sensor ultrasónico, para representar la temperatura se utilizó animaciones con forma de partículas de humo. Finalmente, a través de una esfera se representó el cambio de estado lógico del sensor digital, cuando este se encuentra en IL la esfera se torna de color verde, caso contrario se vuelve de color rojo. Su configuración se llevó a cabo a través de un script que genera colores RGB.

Una vez terminada la aplicación se deben incluir todas las escenas dentro de la plataforma, cada escena corresponde a una ventana creada que contiene la información de scripts, formas 3D, textos, análisis 2D, animaciones, objetos, imágenes, efectos y botones, que se ejecutaran cuando se genere la APK.

Sobre la “Fig. 9” se visualizan los elementos utilizados en la creación de la aplicación AR, cuenta con los botones de capturar la pantalla, información y galería. El cubo de realidad aumentada de Vuforia correspondiente al análisis tridimensional sobre el cual se agrega etiquetas, objetos tridimensionales, colores, textos o números. Los textos numéricos presentan los valores tomados en tiempo real desde los sensores.

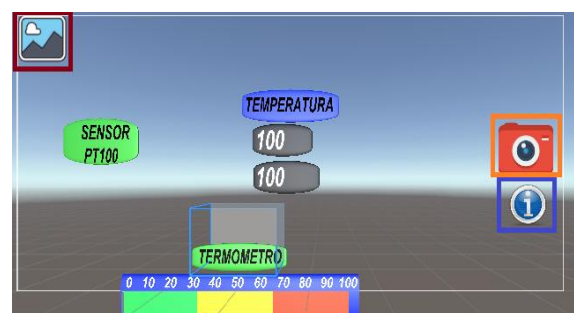


Fig. 9. Escena de desarrollo de la aplicacion AR -Unity.

III. RESULTADOS.

A. Analisis de Reconocimiento de Objetos.

Como primer punto se planteó realizar un análisis en dos dimensiones a través de Imagen Target (reconocimiento de imágenes planas o en dos dimensiones) herramienta propia de Vuforia Development, sin embargo los resultados obtenidos no fueron eficientes, por lo que se migro a un análisis tridimensional a través de Object Target (reconocimiento de objetos tridimensionales), esta herramienta analiza diversas variables como: profundidad, volumen, realce, definición e intensidad lumínica, brindando una amplia información sobre el elemento, convirtiéndola en la opción más eficiente para el reconocimiento de objetos.

En la “Fig. 10” (análisis 2D), se detectó una gran cantidad de detalle en los tanques y su alrededor, obteniendo una calificación estrella-objeto igual a cinco.



Fig. 10. Calificación Estrella-Objeto para Análisis en 2D.

La figura “Fig. 11” muestra las zonas de color verde detectadas por el escáner como las de mayor detalle, dichas áreas generaron 254 puntos. Las características presentes en el reconocimiento tridimensional hacen de esta opción la mejor alternativa al momento de detectar objetos, motivo por el cual este proyecto utilizó el análisis 3D.

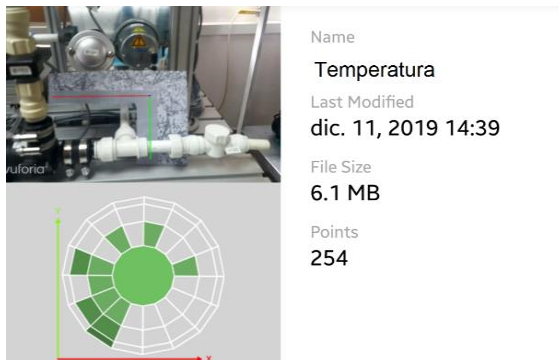


Fig. 11. Zonas de Reconocimiento para Análisis 3D.

La “Fig. 12” muestra el análisis 3D, las secciones de color azul indican las zonas que obtuvieron menor puntuación en cuanto a detalle, mientras que, las secciones de color naranja indican los objetos o zonas con mayor calidad de detalle, esta zona corresponde al sistema de tubería de la estación MPS PA. La mayor zona de reconocimiento fue sobre las tuberías ya que Vuforia genera mayor cantidad de puntos de identificación sobre las zonas que presentan un mayor detalle. Las tuberías al poseer codos, válvulas y hendiduras se convierten en una superficie rica en detalle por lo que destacan del resto de elementos de la planta industrial.

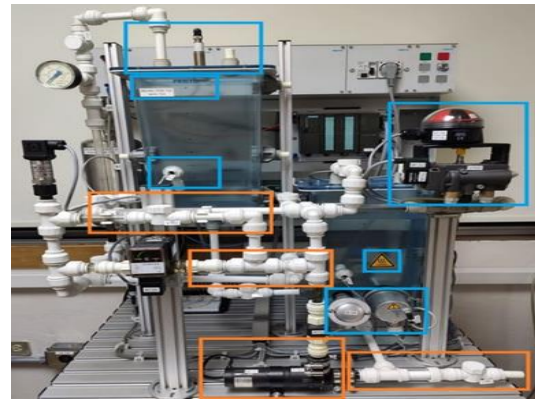


Fig. 12. Zonas de Reconocimiento para Análisis 3D. Zonas azules (Menor reconocimiento), Zonas naranjas (Mayor reconocimiento).

La tabla 4 presenta los valores reales de nivel de agua medidos en el tanque, los valores obtenidos en la aplicación AR y el error porcentual promedio que existe es de 1.91% producto de una falla humana al momento de tomar las medidas, también influye el tiempo requerido para reconocer el objeto, procesar y enviar la información, otra causa de error se atribuye a que el sensor ultrasónico es susceptible a fallas debido a la propagación del sonido sobre el agua, ya que la velocidad del sonido es mayor en los sólidos que en los líquidos por tal motivo al medir el nivel de agua el eco que produce la señal eléctrica en el sensor tarda más tiempo en generar la información provocando un error mínimo en la medición.

TABLA III. TABLA COMPARATIVA DE VALORES (APLICACION AR VS DATOS REALES) .

Nivel de Agua (Litros)		
Datos Aplicación AR	Datos Reales	Error Porcentual (%)
0.5	0.5	0.00
1	1	0.00
1.6	1.5	6.67
2.1	2	5.00
2.6	2.5	4.00
3.2	3	6.67
3.5	3.5	0.00
4.1	4	2.5
4.6	4.5	2.22
5.0	5	0.00
5.6	5.5	1.81
6.1	6	1.67
6.6	6.5	1.54
7	7	0.00
7.5	7.5	0.00
7.9	8	1.25
8.4	8.5	1.18
9.0	9	0.00
Error Porcentual Promedio (%)		1.91%

A continuación, se muestra una gráfica comparativa de los niveles de agua, la serie de color azul representa los datos tomados en la aplicación AR, mientras que, la serie color naranja presenta los datos reales de nivel de agua medidos en el tanque. Es importante recalcar que el tanque tiene 10 niveles de agua marcados, pero solamente se utilizaron 9 niveles esto se debe al alcance máximo del sensor ultrasónico, los nueve niveles corresponden a 27cm siendo esta medida el máximo valor de medida del sensor.

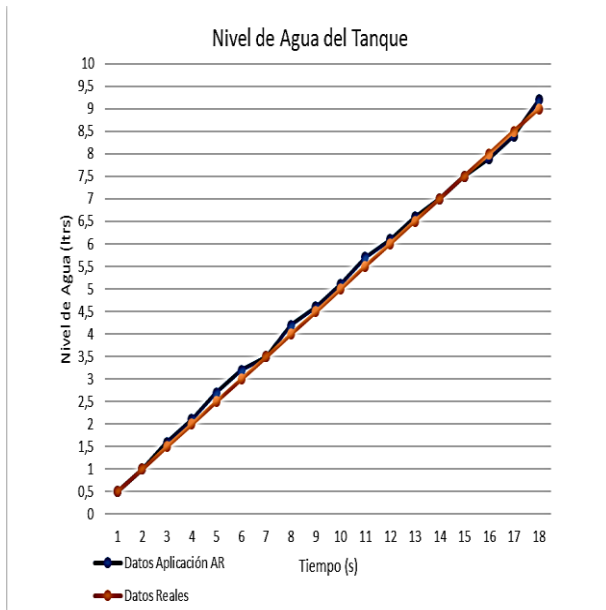


Fig. 13. Gráfica comparativa Nivel de agua (Aplicación AR vs Datos Reales).

B. Resultado Final de la Aplicación AR.

La implementación de animaciones permite que la La “Fig. 14” indica el resultado obtenido en la aplicación AR para los sensores digitales capacitivos, cuenta con elementos de realidad aumentada como: objetos tridimensionales que actúan como etiquetas, textos para mostrar el nombre del sensor y el estado de nivel de agua del tanque, animaciones tridimensionales (esferas que cambian de color según el estado lógico del sensor, siendo rojo 0L y verde 1L), texto numérico (indica el estado lógico del sensor).

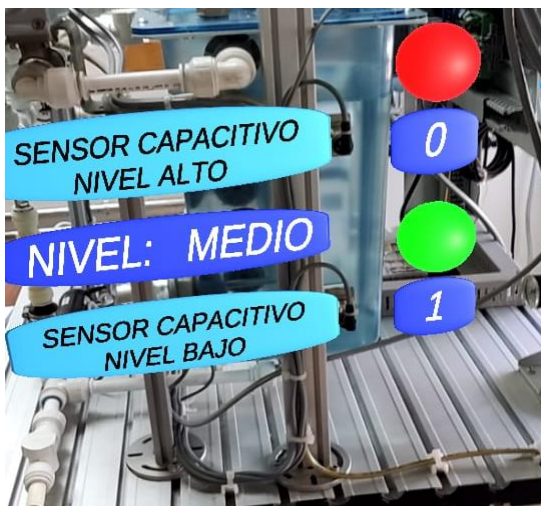


Fig. 14. Resultado final aplicación AR (Sensores Capacitivos).

La “Fig. 15” indica el resultado obtenido en la aplicación AR para el sensor analógico de temperatura, cuenta con elementos de realidad aumentada como los descritos en los sensores digitales, sin embargo, los textos numéricos indican el dato de temperatura en tiempo real tanto en grados centígrados como fahrenheit, los datos son de tipo float para capturar toda la información brindada por la sensibilidad del sensor, también se implementó una animación tridimensional en forma de humo que representa la temperatura del agua.



Fig. 15. Resultado final aplicación AR (Sensor de Temperatura).

Por otro lado, la “Fig. 16” correspondiente al sensor ultrasónico de distancia, cuenta con una configuración muy similar a la mencionada por el sensor de temperatura, con la diferencia que las animaciones ya no son fijas, es decir cada vez que sube el nivel de agua en litros, la animación de agua se observa en tiempo real y representa el incremento proporcional a la cantidad de líquido.



Fig. 16. Resultado final aplicación AR (Sensor Ultrasonico de Distancia).

IV. CONCLUSIONES.

La principal dificultad en la implementación de realidad aumentada en un módulo MPS PA, radica en la existencia de zonas de difícil acceso para el scanner y elementos que no cuentan con suficiente detalle en la superficie sometida al análisis, en la “Fig. 12”, las secciones de color azul indican las zonas que no son recomendables para la implementación AR mientras en color naranja es muy aplicable para este tipo de tecnología, además el reconocimiento de los sensores se llevó a cabo mediante Object Target, esta opción es ideal para los elementos industriales porque analiza volumen, profundidad y cantidad de luz, siendo así la opción más viable para esta tecnología.

Al ejecutar la aplicación en un teléfono móvil con sistema operativo Android menor o igual a la versión 5.0 el smartphone sufre un calentamiento excesivo, esto se debe a que la aplicación consume una alta cantidad de recursos del

núcleo central de procesamiento del teléfono. Por tal motivo, la aplicación debe ser ejecutada preferentemente en un teléfono con sistema Android superior o igual a la versión 8.0 y una memoria RAM superior o igual a 3Gb.

La dirección URL proporcionada por particle cloud está configurada de forma pública, de tal manera que, si un dispositivo móvil accede a la dirección URL, podrá observar el estado de los sensores en tiempo real y en formato Json, el error obtenido es de 1.91% que indica la fiabilidad de la aplicación móvil en la adquisición de los datos, este error es el producto de fallas humanas al momento de tomar los datos y el tiempo que requiere la aplicación para ejecutar todo el proceso desde la toma de datos del sensor hasta la presentación de los valores en la aplicación AR.

REFERENCIAS

- [1] B. Besbes, "An Interactive Augmented Reality System : a Prototype for Industrial Maintenance Training Applications," 2012 IEEE Int. Symp. Mix. Augment. Real., pp. 269–270, 2012
- [2] M. C.-V. (J. P.-G. (y. E. E.-V. Alejandro Alvarez-Marin (1), «Realidad Aumentada como Apoyo a la Formación de Ingenieros Industriales,» Formación Universitaria, Lima, 2016.
- [3] D. M. S. Diaz, "Creating educational content with Augmented Reality applying principles of the cognitive theory of multimedia learning: Comparative study to teach how to fly a drone (quadcopter)," pp. 456–462, 2015
- [4] D. Tatic and B. Tesic, "Improvement of occupational safety systems by the application of augmented reality technologies," 2015 23rd Telecommun. Forum, TELFOR 2015, pp. 962–965, 2016.
- [5] I. M. M. Bohórquez, «Realidad aumentada y aplicaciones,» TIA, Bogotá, 2018.
- [6] M. Lorenz, "Industrial Augmented Reality : Requirements for an Augmented Reality Maintenance Worker Support System," 2018 IEEE Int. Symp. Mix. Augment. Real. Adjun., pp. 151–153, 2018.
- [7] P. Georgel, "Photo-based Industrial Augmented Reality Application Using a Single Keyframe Registration Procedure," pp. 187–188, 2009.
- [8] Vicent Fombuena, Octavio Ángel Fenollar, and Néstor Montañés, "Caracterización de materiales Polimericos," in Caracterización de materiales Polimericos, Primera., Universitat Politècnica de València, Ed. Valencia, 2016, p. 2.
- [9] David Ruiz Torres, "La Realidad Aumentada," in La Realidad Aumentada, Primera., Ediciones Trea, Ed. Asturias, 2013, pp. 17–18.
- [10] F. Herpich, R. L. M. Guarese, and L. M. R. Tarouco, "A Comparative Analysis of Augmented Reality Frameworks Aimed at the Development of Educational Applications," Creat. Educ., vol. 08, no. 09, pp. 1433–1451, 2017.
- [11] Vuforia, "Optimizing Target Detection and Tracking Stability." [Online]. Available: <https://library.vuforia.com/articles/Solution/Optimizing-Target-Detection-and-Tracking-Stability.html?fbclid=IwAR179HdA4mt6bo3U7Qz42qGqigOW0ssl1-B5grjeezI6JPGveTMKX6goA>. [Accessed: 03-Jul-2019].
- [12] D. Martín-Maldonado Jiménez and J. S. Ferrandis, "Desarrollo y edición de juegos serios con Unity y E-Adventure," 2017.
- [13] P. Tim, "Programación con Visual Basic 2008," in *Programación con Visual Basic 2008*, 1ra ed., M. A. Luna, Ed. McGrawHill Editions, 2010, pp. 33–34.
- [14] J. L. Marín and García Antonio, "Solución integral para pc , tablet y smartphone dirigida a la gestión y lectura de libros electrónicos implementado en C# y XAML . DIRECTOR : Autor," p. 17, 2015.
- [15] J. Helmich and ADIRO, "MPS PA Compact Workstation Manual," System, no. 5. pp. 1–9, 2006.