

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO

CARRERA:

INGENIERÍA DE SISTEMAS

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

Ingeniera e Ingeniero de Sistemas

TEMA:

**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL CON REALIDAD
AUMENTADA QUE APOYE EL PROCESO DE ENSEÑANZA - APRENDIZAJE DEL
USO DE LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS CNC (CONTROL
NUMÉRICO COMPUTARIZADO) DE LA CARRERA DE MECÁNICA DE LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.**

AUTORES:

NATHALY ALEJANDRA JARAMILLO AGUIAR

RICHARD EMILIO MACAS NARVAEZ

FRANKLIN EDMUNDO HURTADO LARREA

Quito, agosto del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Nathaly Alejandra Jaramillo Aguiar, con documento de identificación N° 1726818600 y Richard Emilio Macas Narváez, con documento de identificación N° 1722745963, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: “DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL CON REALIDAD AUMENTADA QUE APOYE EL PROCESO DE ENSEÑANZA - APRENDIZAJE DEL USO DE LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS CNC (CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO) DE LA CARRERA DE MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera e Ingeniero de Sistemas, 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 mi 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 formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, agosto del 2020

Nathaly Alejandra Jaramillo Aguiar

1726818600

Richard Emilio Macas Narváez

1722745963

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, con el tema: “DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL CON REALIDAD AUMENTADA QUE APOYE EL PROCESO DE ENSEÑANZA - APRENDIZAJE DEL USO DE LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS CNC (CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO) DE LA CARRERA DE MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA” realizado por Nathaly Alejandra Jaramillo Aguiar y Richard Emilio Macas Narváez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, agosto 2020



Franklin Edmundo Hurtado Larrea

1713382016

DEDICATORIA

De Nathaly Jaramillo

Esta tesis está dedicada: A mis padres Luis y Raquel quienes con su amor y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir una meta más; a mi hermana la cual me ha acompañado siempre en este recorrido con sus risas y ánimos y a toda mi familia porque con sus oraciones y palabras de apoyo, me han brindado aliento.

De Richard Macas

Este trabajo se lo dedico a mis padres y hermanos, que siempre estuvieron apoyándome y aconsejándome desde los inicios de mi carrera y hasta el día de hoy. Durante todo este tiempo, ellos han sido mi fuerza para seguir adelante y, gracias a sus consejos y su ayuda, he llegado a cumplir una de mis metas como profesional.

AGRADECIMIENTO

De Nathaly Jaramillo

Quiero agradecer a Dios, quien con su bendición me ha permitido llegar a culminar esta meta y ha permitido que mis seres queridos me acompañen en este logro, a mis padres por todo el esfuerzo y apoyo que me han brindado, a la Universidad Politécnica Salesiana y sus docentes quienes con su enseñanza y conocimientos me han ayudado a crecer como profesional y finalmente al Ingeniero Franklin Hurtado que nos ha acompañado durante todo este proceso.

De Richard Macas

Agradezco en primer lugar a Dios por permitirme conocer a Mike y Margarita, pues gracias a su apoyo emocional, académico y económico, he logrado cumplir varios objetivos personales. Agradezco a ellos, por ser parte de mi vida y de mi familia, les agradezco por enseñarme tantas cosas y principalmente, les agradezco por permitir ser parte de la Fundación DEOF (David's Educational Opportunity Fund).

Agradezco también a todos los docentes que he conocido durante la carrera, les agradezco por compartir sus conocimientos y por tenernos paciencia a todos los estudiantes.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Antecedentes.....	3
Problema de estudio	3
Justificación.....	4
Objetivos.....	5
Metodología.....	6
Alcance	9
CAPÍTULO I.....	11
1. Marco teórico	11
1.1. Pedagogía, Educación y Tecnología.....	11
1.2. Seguridad Industrial.....	12
1.3. Realidad aumentada.....	13
1.4. Diferencia entre realidad aumentada, mixta y virtual	14
1.5. API.....	15
1.6. Herramientas de desarrollo y SDK de realidad aumentada.....	15
1.6.1. EasyAr	15
1.6.2. Vuforia	16
1.6.3. Arcore	16
1.6.4. Unity	16
1.7. Herramientas e instrumentos para la gestión de proyectos	17
1.7.1. Cuestionarios Abiertos.....	17
1.7.2. Trello.....	17
1.8. Máquinas industriales CNC.....	17
1.8.1. Torneado	18
1.8.2. Fresado.....	18

1.9.	Marco de trabajo Scrum	19
1.10.	Alcance frontera del producto.....	20
CAPÍTULO II.....		21
2.	Análisis y diseño de la aplicación	21
2.1.	Elección SDK en base a sus características generales.....	21
2.2.	Pruebas SDK y experimentación.....	23
2.3.	Resultados SDK.....	27
2.4.	Comportamiento y funcionalidad de la aplicación	30
2.4.1.	Casos de Uso.....	30
2.4.2.	Diagrama de entidad – relación	32
2.4.3.	Diagrama de componentes	32
2.4.4.	Diagrama conceptual de realidad aumentada	33
2.5.	Planteamiento de la arquitectura de la solución	33
2.5.1.	Diagrama arquitectónico de la solución.....	34
CAPÍTULO III.....		34
3.	Construcción y pruebas de la aplicación	36
3.1.	Arquitectura de la solución.....	36
3.2.	Preparación del ambiente de desarrollo.....	38
3.2.1.	Preparación del entorno Unity	38
3.2.2.	Integración de Unity con EasyAR	38
3.3.	Desarrollo del módulo de realidad aumentada	39
3.3.1.	Uso de la funcionalidad TargetOnTheFly EasyAR	39
3.3.2.	Posicionamiento de indicadores sobre una imagen	40
3.3.3.	Obtención de indicadores y visualización con realidad aumentada	43
3.4.	Desarrollo interfaz de usuario a través del Canvas de Unity.....	44
3.5.	Desarrollo de la aplicación web para la gestión de datos	46

3.5.1.	Conexión a la base de datos	46
3.5.2.	Creación de métodos CRUD.....	47
3.6.	Integración de Unity con aplicación web	47
3.7.	Generación y Escaneo de código QR para registro de usuarios	48
3.8.	Planificación pruebas de desarrollo.....	49
3.9.	Casos de pruebas	50
3.9.1.	Pruebas funcionales	50
3.9.2.	Pruebas de rendimiento.....	51
3.9.3.	Pruebas de usabilidad.....	51
3.10.	Resultados.....	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		56
GLOSARIO		58
LISTA DE REFERENCIAS.....		59
ANEXOS		62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis metodológico.....	7
Tabla 2. Ejemplo Scrum-Board.....	8
Tabla 3. Diferencia entre realidad aumentada, mixta y virtual	15
Tabla 4. Comparación SKD's de realidad aumentada	21
Tabla 5. Lista de elementos en la capa de Vista.....	36
Tabla 6. Lista de elementos en la capa Controlador	37
Tabla 7. Lista de elementos en la capa Modelo	37
Tabla 8. Resumen del plan de pruebas	49
Tabla 9. Resultados pruebas funcionales	52
Tabla 10. Resultados de las pruebas de rendimiento	53
Tabla 11. Resultados de pruebas de usabilidad.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa conceptual del alcance con los módulos de la solución.....	10
Figura 2: Ejemplo de un registro de una base de datos en el portal de Vuforia.....	24
Figura 3: Ejemplo de validación de asimetría que realiza Vuforia	24
Figura 4: Ejemplo de asignación del objeto de realidad aumentada a un componente.....	25
Figura 5: Plantilla de ejemplo con asimetría múltiple que permite escanear objetos Vuforia.	25
Figura 6: Vista del portal de Vuforia para subir un nuevo objeto.....	26
Figura 7: Ejemplo de detección de planos y anclas en una sesión Arcore.	26
Figura 8: Vista de ejemplo para la captura de imágenes planas con EasyAR.	27
Figura 9: Resultados de clasificación de imágenes en Vuforia, al detectar la asimetría de estas.	28
Figura 10: Instalación de servicios Google Play en la ejecución de realidad aumentada para Arcore.....	28
Figura 11: Configuración para acciones multiplayer de Arcore en Unity.	29
Figura 12: Resultado de situar objeto sobre un plano.	29
Figura 13: Resultado detección a través de imagen plana.	30
Figura 14: Caso de uso de autenticación y acciones para los diferentes actores.	30
Figura 15: Caso de uso para la creación de indicadores y visualización por el administrador y el estudiante.....	31
Figura 16: Caso de uso del ambiente de evaluación y la interacción de los actores.....	31
Figura 17: Modelo Entidad-Relación de la base de datos de la aplicación.....	32
Figura 18: Diagrama de componentes, herencia y relación de las clases.	33
Figura 19: Diagrama que muestra el funcionamiento una aplicación con realidad aumentada.	33
Figura 20: Plan de la arquitectura MVC implementado en la solución.	34
Figura 21: Diagrama arquitectónico de la solución.	35

Figura 22: Muestra del registro de la aplicación en EasyAR.	39
Figura 23: Método para almacenar imágenes de la clase FileManager.	40
Figura 24: Código para guardar una imagen al servidor de la aplicación web.	41
Figura 25: Estructura de directorios de la aplicación web.	41
Figura 26: Asignación de indicadores de realidad aumentada a un entorno capturado.	42
Figura 27: Método para la captura de coordenadas desde Unity.	42
Figura 28: Ejemplo de conexión para obtener las coordenadas de la base de datos.	43
Figura 29: Ejemplo para la cargar indicadores de realidad aumentada a una imagen.	44
Figura 30: Guía para la interfaz de autenticación y registro.	45
Figura 31: Guía para la interfaz de instrucciones.	45
Figura 32: Guía para la interfaz de realidad aumentada.	46
Figura 33: Ejemplo para obtener coordenadas desde la base de datos a Unity.	47
Figura 34: Ejemplo de conexión a la aplicación web desde el script de Unity.	47
Figura 35: Método para generar el código QR de los docentes.	48
Figura 36: Método para la lectura de código QR.	49

RESUMEN

El presente proyecto de titulación nace por la necesidad de crear material didáctico basado en Tecnologías de la Información para los equipos del laboratorio de máquinas CNC de la carrera de Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, con la finalidad de apoyar el proceso de enseñanza - aprendizaje del uso de los equipos. Por ello, se desarrolló una aplicación con realidad aumentada, en la cual se utilizó el IDE de desarrollo Unity y el kit de desarrollo de software EasyAR, bajo el marco de trabajo Scrum.

Cada una de las fases realizadas han permitido obtener como resultado el cumplimiento de todos los objetivos planteados. El producto final es un aplicativo móvil para Android, que permite la autenticación de estudiantes y docentes para la visualización y configuración de instrucciones, con realidad aumentada, para las máquinas de fresado y torneado del laboratorio.

ABSTRACT

This project for the completion of my undergraduate degree, based on Information Technologies IT, originates from the need to support the methods of teaching on the laboratory equipment, for the CNC machines of the Mechanics career in the Universidad Politécnica Salesiana. In order to accomplish this, an application using augmented reality was developed which will facilitate student learning based on technological resources. For the implementation of this application, the Unity development IDE and the Easy AR kit for the development of Augmented Reality software were used, under the trademark name Scrum.

Each one of the completed phases has permitted the accomplishment of all the proposed objectives. The final product is a mobile app for Android that allows the authentication of students and teachers, for the visualization and configuration of instructions with augmented reality in the laboratory for milling and turning machines.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El laboratorio CNC de la Universidad Politécnica Salesiana, se utiliza para realizar las prácticas de la cátedra “Procesos de manufactura” de la carrera de Mecánica, en donde los estudiantes aprenden el uso de las máquinas de torneado y fresado, el Ingeniero encargado del laboratorio, es el que enseña las instrucciones de manejo básicas de la maquinaria, a partir de ello, los estudiantes pueden revisar el manual técnico para obtener más información o repasar las instrucciones ya enseñadas, dichos manuales son archivos en formato PDF, que contienen imágenes de los principales botones, paneles y teclados con una explicación de las acciones que realizan, estos documentos cuentan con más de 20 páginas. A pesar de que este tipo de documentos es accesible bajo cualquier dispositivo, en la actualidad se le ha dado un enfoque más didáctico a la educación, en donde se pretende que el estudiante no solo obtenga conocimiento, sino que también interactúa con el mismo, ya que esto reduce la curva de aprendizaje y además fomenta el interés de aprender en los alumnos.

La realidad aumentada se ha convertido en uno de los recursos didácticos favoritos dentro de las aulas de clase para tareas en las que se necesita interactuar con un objeto o persona para la obtención del conocimiento, es así como se ha implementado esta tecnología para: aprender el manejo de máquinas industriales, la realización de procedimientos médicos, las partes que componen a cierto objeto y un amplio número de aplicaciones.

Problema de estudio

El laboratorio de máquinas CNC de la Universidad Politécnica Salesiana, cuenta con equipos de torneado y fresado de última generación, son dos máquinas que son utilizadas por docentes y estudiantes, tanto para la ejecución de clases prácticas como para la realización de proyectos.

Si bien existen manuales de operación de los equipos mencionados, no existe evidencia de que se hayan creado materiales o herramientas didácticos de ninguna índole, que coadyuven

en el proceso de enseñanza del uso de esta maquinaria. La falta de estas herramientas en las estrategias de aprendizaje dentro de los laboratorios, podría complicar a los docentes en la preparación y ejecución de las clases (prácticas y/o proyectos), así lo menciona la encuesta realizada por el portal, EduGlobal, (Guzmán & Bustos, 2016), que se titula: “Formación continua: ¿Responde a las necesidades y expectativas de los docentes?”, y que entre otras cosas concluye: el 33% de los docentes, afirman que lo más complejo son las estrategias didácticas para el aprendizaje, y el 28,7%, afirma que lo más complejo es la preparación del material didáctico.

Por otro lado, el uso inadecuado de equipos en los laboratorios, por parte de los estudiantes, podrían terminar en accidentes, lo que involucraría tomar medidas de clausura o cierre de los laboratorios. Según el portal, (GTG, 2018), en el 2018, se produjeron 299.008 accidentes laborales en industrias que poseen este tipo de máquinas (Torneado y Fresado); a pesar de que los acontecimientos, no fueron provocados dentro de laboratorios en universidades, existe un posible riesgo bajo una mala manipulación de los equipos, que podrían generar complicaciones graves. Además, se debe tomar en cuenta, el riesgo que implica la pérdida y no funcionamiento de las máquinas, generando costos adicionales en la implementación de nuevos equipos o mantenimiento de estos.

Justificación

En la actualidad, la implementación de la tecnología denominada realidad aumentada, es cada vez más frecuente en las instituciones educativas de todos los niveles, hecho que ha propiciado una mejora evidente en los métodos y estrategias de aprendizaje. Esta tecnología, en el campo de la educación, tiene numerosas aplicaciones, algunos ejemplos son: en los trabajos de campo, sirve para facilitar la identificación de objetos en un entorno específico; en libros, sirve para dinamizar contenidos, haciéndolos más atractivos; en eventos, puede servir para evidenciar la información de objetos y actores, etc.

Las clases prácticas en los laboratorios de las escuelas y universidades son el escenario perfecto para el uso de realidad aumentada pues ésta, provee una variedad de herramientas de aprendizaje, como menciona (Sevilla, 2017) en el manual de realidad aumentada en educación; además, el hecho de que los estudiantes no interactúen con los equipos del laboratorio directamente puede significar un ahorro de recursos energéticos, mecánicos o de materiales.

Por estas razones, una aplicación móvil con realidad aumentada en el laboratorio de máquinas CNC de la carrera de Mecánica, se convertirá en una herramienta didáctica que tendrá mucha utilidad en el proceso de enseñanza - aprendizaje para el uso correcto de estos equipos.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar una aplicación móvil con realidad aumentada que apoye el proceso de enseñanza - aprendizaje del uso de los equipos de torneado y fresado en el laboratorio de máquinas CNC (control numérico computarizado) de la carrera de Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana.

Objetivos específicos

- Investigar el funcionamiento de los equipos de fresado y torneado en el laboratorio de máquinas CNC y las tecnologías necesarias para la implementación de la solución.
- Implementar un mecanismo de autenticación en la aplicación móvil tanto para docentes y estudiantes que provea seguridad y control en el inicio de sesión para cada tipo de usuario.
- Desarrollar una guía de instrucciones con realidad aumentada del funcionamiento de los equipos de fresado y torneado para el aprendizaje de los estudiantes de forma clara y didáctica.
- Implementar la funcionalidad de evaluación para evidenciar el proceso de aprendizaje en los estudiantes, como parte de la aplicación móvil.

Metodología

En el presente capítulo se redacta el manejo del marco de trabajo Scrum, así como las diferentes técnicas de investigación implementadas para el desarrollo de la aplicación, juntamente con los instrumentos, herramientas y buenas prácticas utilizadas para llevarla a cabo.

Análisis Metodológico

El proyecto se desarrolló bajo el marco de trabajo Scrum apoyada de ciertas técnicas de investigación para la toma de requerimientos, diseño y análisis de la aplicación. Se decidió ejecutar este marco de trabajo ágil de desarrollo ya que se conocía claramente el alcance frontera del producto, así como los requerimientos necesarios brindados por los Product Owner, docentes de la carrera de Mecánica y encargados del laboratorio a partir del cual se trabajó, los mismos que cumplieron el rol de Product Owner. Al implementar Scrum se logró realizar un correcto seguimiento a las tareas del proyecto, gracias a los instrumentos propios que propone este marco de trabajo como son el Scrum-Board y las reuniones diarias, además permitió conocer el alcance actual, lo cual ayudó a desarrollar una mejor gestión del proyecto e identificación de riesgos de manera más oportuna, finalmente el contar con un Product Owner que conoce el proceso que se va a desarrollar en la aplicación, benefició y apoyó en el cumplimiento de los requerimientos del cliente.

El proyecto se construyó según la tabla adjuntada en el anexo (Análisis Metodológico), que muestra cómo se cumplirán los objetivos propuestos a través del marco de trabajo seleccionado, en la presente tabla se observa el tipo de investigación usada para el análisis y construcción del proyecto, el marco de trabajo de desarrollo de aplicaciones y la metodologías de investigación, la técnica a utilizar, los instrumentos para llevar a cabo cada técnica y la fuente de origen de información para llegar a los objetivos propuestos, esta matriz permitió tener una guía clara acerca del procedimiento que se realizó para la culminación del proyecto.

Tabla 1.
Análisis metodológico

Marco de trabajo - Metodología de investigación	Técnica	Instrumento - Herramienta
Metodología cualitativa	Entrevista estructurada	Cuestionarios Abiertos
	Análisis documental	Fichas de resumen
Marco de trabajo Scrum	Análisis de requerimientos	Cuestionario Abierto
		Product Backlog
	Desarrollo de software	Scum-Board
		Herramienta Trello

Nota: La tabla muestra las técnicas e instrumentos utilizados para la metodología de investigación y el marco de trabajo Scrum.

Elaborado por: Los autores.

Definición de roles Scrum

Siguiendo la guía en el marco de trabajo Scrum y en base a las responsabilidades que son asignadas por los roles, se procedió a la gestión del proyecto trabajando de la siguiente manera:

- **Product Owner:** asignados a este rol, fueron los docentes de la carrera de Mecánica: Marco Antonio Hechavarria Sánchez y Xavier Eduardo Vaca Michilena que conocen el manejo y funcionamiento de las máquinas, y son los encargados del laboratorio de máquinas CNC. Además, son las personas que fijaron los requerimientos de la aplicación.
- **Scrum Master:** el tutor, Franklin Hurtado Larrea, se encargó de presentar la visión general del proyecto para convertirlas en el Product Backlog y presentar al equipo de desarrollo. También, se encargó de la gestión y organización de las reuniones para realizar revisiones de los avances.
- **Equipo de desarrollo:** con la finalidad de cumplir con los requerimientos y el marco de desarrollo, se trabajó realizando incrementos por cada Sprint, mejorando la funcionalidad de la aplicación, así como su visualización y características.
- **Usuarios:** este rol fue asignado a tres perfiles, los que van a interactuar con la aplicación de realidad aumentada y están clasificados en: administrador, docente y estudiante.

Gestión de requisitos

El manejo de los requisitos en un proyecto de desarrollo cumple una parte fundamental para evitar cambios complejos en las siguientes fases, lo cual repercute en un aumento en el tiempo de desarrollo e inclusive costos más elevados, por esta razón la gestión de los mismos se debe realizar mediante buenas prácticas. La toma de requerimientos en este proyecto se lo llevó a cabo bajo el marco de trabajo Scrum acompañada de algunas técnicas de investigación para facilitar la interacción con los Product Owner.

Instrumentos y herramientas

Para la toma de requerimientos de la aplicación se utilizó la técnica de investigación, reunión, en la cual participó el Product Owner Marco Hechavarria y el Scrum Master, a partir de la cual se estableció los módulos y requerimientos generales que conformaron la aplicación y se procedió a la construcción del Product Backlog, posteriormente se realizó la creación del Sprint Backlog de cada módulo. Para su desarrollo se definieron historias de usuario, en base a un cuestionario abierto como instrumento, el mismo se encuentra en el anexo (Cuestionario funcionamiento de las máquinas del laboratorio CNC), hacia el Product Owner Xavier Michilena sobre el funcionamiento y principales instrucciones de las máquinas de torneado y fresado a mostrar en la aplicación. El seguimiento y gestión de requisitos se lo realizó con la ayuda del Scrum-Board, el mismo que fue manejado en la herramienta Trello.

La presente tabla es un ejemplo del Scrum-Board referente al Sprint “Creación de objetos con realidad aumentada” del proyecto, en la cual se presenta las tareas realizadas para el cumplimiento del Sprint, quién la realizo, el responsable de la verificación y si se completó o no.

Tabla 2.
Ejemplo Scrum-Board

Product Backlog	Sprint	To do	Doing	Verify	Done
------------------------	---------------	--------------	--------------	---------------	-------------

Instrucciones de realidad aumentada	Creación de objetos con realidad aumentada	Integración Unity con EasyAR	Nathaly Jaramillo	Richard Macas	Si
		Utilización de la funcionalidad Drag and Drop para objetos dentro de Unity	Richard Macas	Nathaly Jaramillo	Si
		Obtención de las coordenadas de un objeto	Richard Macas	Nathaly Jaramillo	Si
		Creación de método “Guardar Foto” en PHP	Nathaly Jaramillo	Richard Macas	Si
		Conexión Unity con PHP	Nathaly Jaramillo	Richard Macas	Si

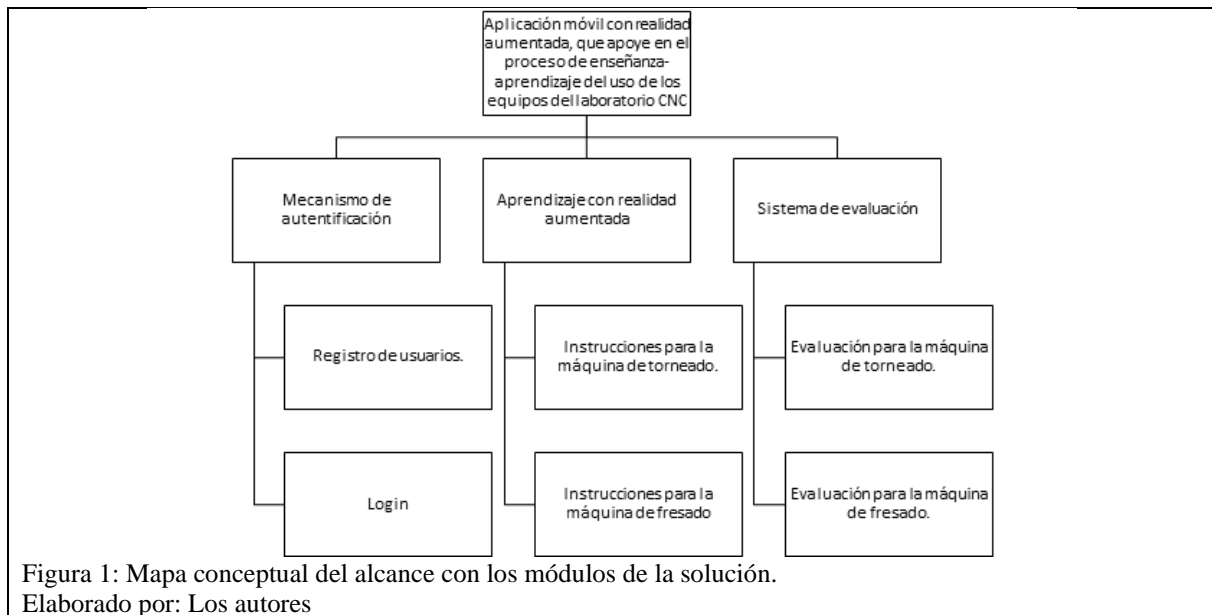
Nota: La tabla muestra cómo se llevó a cabo el Sprint Creación de instrucciones de realidad aumentada en la aplicación.

Elaborador por: Los autores, a partir de las historias de usuario.

Alcance

Desarrollo de una aplicación móvil Android con realidad aumentada para el aprendizaje del uso de los equipos de torneado y fresado del laboratorio de máquinas CNC de la carrera de Mecánica perteneciente a la Universidad Politécnica Salesiana, el software se lo realizara a través del IDE Unity 3D, SDK de realidad aumentada y C#, la funcionalidad que compone el software es:

Alcance de la solución



- Módulo de autenticación y usuarios, en donde se realiza el registro de usuarios e inicia sesión y se verifica el inicio de esta correspondiente a cada tipo de usuario.
- Módulo de aprendizaje, este módulo permite la visualización de instrucciones de uso para las máquinas de tornado y fresado del laboratorio de mecánica a través de la cámara del teléfono móvil y con apoyo de realidad aumentada, es el encargado de mostrar las instrucciones de uso de las maquinas a los estudiantes de manera interactiva y visual.
- Módulo de evaluación, en este módulo se pone en práctica lo aprendido, con apoyo de realidad aumentada, una vez que el estudiante haya pasado por el módulo de visualización de instrucciones

CAPÍTULO I

1. Marco teórico

1.1. Pedagogía, Educación y Tecnología

La educación en la actualidad ha tenido un gran cambio, conjuntamente con las TIC (Tecnologías de la información y comunicación), ya que ahora se centra principalmente en el uso de recursos tecnológicos y de multimedia como apoyo para la enseñanza y aprendizaje, las TIC ofrecen características que mejoran dichos recursos, otorgando mayor potencia al trabajo de aprendizaje, eliminando así la barrera que existe en la formación habitual como es el espacio y tiempo, de esta forma el aprendizaje se vuelve totalmente disponible y accesible, además, permite la comunicación de muchos a muchos, dispone de una gran cantidad de recursos, ahorra costos y está al alcance de la mayor parte de la población, (Cabero & Román, La formación en internet, 2006), algunos autores como Bautista 2004, Tello 2009, Vivancos 2008, mencionados en (Cacheiro Gonzáles, 2018), aseguran que el proceso de enseñanza con uso de las TIC debe ser de forma dual, es decir, se debe planificar de tal forma que la parte tecnológica complemente lo pedagógico y viceversa, en donde los recursos tecnológicos sean los adecuados, ya que, si no se conoce la correcta forma de utilizar el hardware o software, esto se verá reflejado el resultado, en el cual se manifiesta un aprendizaje de baja calidad, por esta razón, el recurso debe ser lo más cercano a la realidad y lo más sencillo posible, por lo tanto mientras más práctico y didáctico sea el recurso utilizado para la enseñanza mejor será la curva de aprendizaje de los estudiantes, como se puede observar en los hallazgos de un experimento social producido por (Cabero & Barroso, Los escenarios tecnológicos en Realidad Aumentada (RA), 2018) en donde se evidencia que la interacción de los estudiantes con objetos de realidad aumentada, mejoraron las puntuaciones en las pruebas realizadas sobre un conocimiento obtenido previamente. (p.332)

Al utilizar realidad aumentada, para el aprendizaje dentro de la industria es importante adecuar la información que se va a enseñar, en lo posible está debe visualizarse de manera gráfica y práctica, se debe añadir contenido interactivo como imágenes, animaciones y videos,

se debe procurar siempre explicaciones cortas; el uso de etiquetas de título referente a los objetos reales, también es importante, la compañía Boeing (empresa estadounidense encargada de la fabricación y servicio técnico de aviones, helicópteros, misiles, entre otros equipos similares) ha realizado una prueba de esta tecnología, en donde el personal de mantenimiento de un sistema para aviones fue evaluado, en tres distintos escenarios: en el primero caso se utilizó guías impresas que ayudaron al equipo de trabajo a completar el mantenimiento, en el segundo grupo se le dio al personal material PDF y por último al tercer grupo se le otorgó una aplicación con realidad aumentada, las mismas que contenían una serie de instrucciones didácticas para llevar a cabo la tarea; como resultado, se observó que el grupo que utilizó las aplicaciones tecnológicas con realidad aumentada, no cometió ningún error en el proceso, a diferencia de los que lo hicieron con los métodos tradicionales, en donde se encontraron nueve errores. A pesar de que todas las guías contenían la misma información y todo el personal tuvo el mismo tiempo para realizar el mantenimiento, fue notable la diferencia en la ejecución.

1.2. Seguridad Industrial

Al hablar de seguridad industrial se presentan dos enfoques de discusión sobre cuál es la verdadera causa de los accidentes ocasionados, anteriormente, la mayor parte de las lesiones laborales en el ámbito industrial se ha retribuido a actos inseguros de los trabajadores, es decir a un mal manejo de las máquinas por parte de ellos, mas no a las condiciones laborales, como lo explica H.W. Heinrich en sus estudios (Ray, 2000), «existe una cifra del 88% de lesiones pertenecientes a actos inseguros» (p.51), sin embargo la tendencia actual es prestar más atención a la educación sobre el tema, esto plantea dar las capacitaciones necesarias y de la manera adecuada al personal, tanto del uso de la maquinaria y el entorno, como los sistemas de protección, ya que este concepto se ha presentado a medida que las tecnologías se han ido aplicando a las diferentes etapas de la producción industrial, se define entonces a la seguridad industrial como el uso de múltiples disciplinas o herramientas que se encargan de minimizar

los posibles riesgos en la industria, a través de los recursos adecuados hacia el personal que habita en dicho entorno.

1.3. Realidad aumentada

La realidad aumentada es una tecnología que permite la interacción del mundo real con el virtual, a través de una aplicación, su objetivo es situar imágenes u objetos desarrollados por computador, de tal forma que aporten información adicional al usuario acerca del entorno real, al que está captando. Existen varias definiciones acerca de la realidad aumentada, todas con características diferentes, así por ejemplo (De Pedro, 2011), explica a la realidad aumentada como “aquella tecnología capaz de complementar la percepción e interacción con el mundo real, brindando al usuario un escenario real aumentado con información adicional generada por ordenador.” (p. 301)

Esta tecnología, tiene un gran impacto en la educación, pues motiva a los estudiantes de la generación actual a prestar mayor atención en las aulas, como lo explica (Reinoso, 2012): “numerosas han sido las investigaciones que sugieren que la realidad aumentada refuerza el aprendizaje e incrementa la motivación por aprender” (p.371).

Hasta la fecha, se puede determinar que existen cuatro niveles de realidad aumentada, estos, según (Prendes, 2015): “se pueden entender los niveles como una forma de medir la complejidad de las tecnologías involucradas en el desarrollo de sistemas de RA” (p. 189). Estos niveles se presentan a continuación:

- Nivel 0: se basa en códigos UPC y códigos QR.
- Nivel 1: se basa en la utilización de marcadores, como un documento en blanco con una letra X en el centro.
- Nivel 2: la utilización de GPS de los dispositivos electrónicos.
- Nivel 3: en base a visión aumentada
- Nivel 4: en base a dispositivos de lentes de contacto que actúen como displays.

Al hablar de realidad aumentada se debe conocer también la definición de ciertos conceptos como el tracking, el mismo que hace referencia al reconocimiento de markers u objetos, un marker dentro de la realidad aumentada es un punto de dos dimensiones, es decir una imagen, que sirve como referencia para el reconocimiento, dependiendo del kit de desarrollo de software de realidad aumentada un marker puede ser una imagen cualquiera o una imagen que contenga ciertos parámetros específicos, también puede ser un código QR o un Vumark, este último es un código de barras, que permite tener libertad en el diseño y además a partir de un solo diseño se puede obtener varios de ellos, lo cual hace más sencillo el proceso de creación de markers para indicar diferentes puntos de referencia, dentro de un aplicativo de realidad aumentada.

Los parámetros o restricciones de reconocimiento sobre un marker, se trata de que, en varios kits de desarrollo de software de realidad aumentada para el tracking, se utiliza la identificación de patrones, por ejemplo, en Artoolkit, la herramienta reconoce una imagen si la misma cuenta con un marco negro a su alrededor, este parámetro hace más sencillo el reconocimiento visual en el algoritmo; los parámetros más habituales usados por los kits de desarrollo de software son: asimetría en sus fotos, colores en escala de grises y figuras simples a su alrededor.

1.4. Diferencia entre realidad aumentada, mixta y virtual

Con frecuencia existe una confusión en el concepto de estas tres tecnologías, hay que tener en cuenta que cada una tiene una función específica y ciertas limitaciones que son las que diferencian a la una de la otra, en la siguiente tabla se puede evidenciar una comparación de estas y cómo identificarlas (Bockholt, 2017).

Tabla 3.
Diferencia entre realidad aumentada, mixta y virtual

	Concepto	Clave para identificar
Realidad aumentada	Contenido virtual, sobre un objeto del entorno real.	Siempre existe un objeto real base para desplegar la realidad aumentada.
Realidad mixta	Contenido virtual sobre el entorno real.	Se sitúa objetos virtuales sobre cualquier entorno o espacio real.
Realidad virtual	Conjunto de componentes y escenas virtuales que simulan un entorno real.	Todo el contenido es completamente virtual.

Nota: La tabla muestra como diferenciar los conceptos de realidad aumentada, mixta y virtual.
Elaborado por: Los autores.

1.5. API

Las siglas API, significa Interfaz de Programación de Aplicaciones y es un conjunto de funciones, cuyo objetivo es que puedan ser utilizadas desde otro software, esto facilita la interacción entre programas, las API al ser llamadas dan acceso a sus funciones predefinidas las cuales se encargan de realizar acciones o tareas específicas.

1.6. Herramientas de desarrollo y SDK de realidad aumentada

1.6.1. EasyAr

Es una herramienta gratuita que contiene librerías para el desarrollo de realidad aumentada, cuenta además con una versión profesional, de pago, con algunas características extra, este kit de desarrollo de software cuenta con un complemento para Unity, que además se lo puede utilizar para los sistemas Android y iOS, algunas de las características principales son: mapeo espacial, rastreo de imágenes planas, objetos 3 Dimensiones y MultiTracker, este último hace referencia a que puede rastrear múltiples objetos simultáneamente, actualmente su última versión es EasyAR Sense 4.0.1.

1.6.2. Vuforia

Es una herramienta de desarrollo para realidad aumentada, que funciona en Android, iOS, UWP y cualquier dispositivo que permita realidad aumentada como lentes AR, este kit de desarrollo de software utiliza visión por computadoras para los métodos de rastreo; Las principales funciones con las que cuenta son: Detección de imágenes, Vumark, objetos y rastreo de planos, la última versión lanzada es Vuforia Engine 9.2.

1.6.3. Arcore

Es un kit de desarrollo de software de desarrollo para realidad aumentada creado por Google, es compatible Java, Unity, Unreal, Android, iOS y entre sus principales características esta la detección de imágenes, objetos, el rastreo de planos, comprensión del entorno y la estimación de luz cuando se presenta un objeto dentro del mundo real, también permite el uso de multijugador.

1.6.4. Unity

Es un IDE de desarrollo multiplataforma creado por Unity Technologies, principalmente para la creación de videojuegos, este entorno gráfico permite también desarrollar animaciones, aplicaciones interactivas 2 Dimensiones o 3 Dimensiones, y realidad aumentada, posee un editor visual para poder crear contenido a través de interfaces sencillas de utilizar, además cuenta con el componente Canvas para la realización de la interfaz gráfica de las aplicaciones que se quieran desarrollar, para el código se puede desarrollar en lenguaje JavaScript o C#. Unity se maneja mediante la creación de Scenes, una escena puede ser cualquier parte del juego o de la aplicación por ejemplo la ventana de autenticación o un nivel dentro de un juego, además cuenta con una estructura conformada normalmente con Scripts, que son las clases C# o JavaScript; Resources, la cual es una carpeta que contendrá todos los recursos gráficos o no para la construcción de la aplicación y Prefabs, este es el nombre convencional para determinar a la carpeta que contendrá un objeto tipo asset el cual permite almacenar un GameObject con

sus componentes y propiedades, finalmente un GameObject es un objeto que representan personajes, funcionalidades, propiedades o incluso escenarios.

1.7. Herramientas e instrumentos para la gestión de proyectos

Es importante a la hora de desarrollar un proyecto hacer uso de los instrumentos y herramientas adecuados que faciliten y ayuden el manejo del mismo.

1.7.1. Cuestionarios Abiertos

Este instrumento generalmente usado bajo la técnica de entrevista es un conjunto de preguntas que se las realiza a un sujeto, con el fin de que responda con total libertad, es decir, no es una pregunta de opción múltiple, lo que permite que se obtenga mucha más información que los cuestionarios de tipo cerrados, por lo tanto, se usa generalmente cuando se requiere conocer todo sobre un tema en específico. Dentro de la gestión de proyectos, este instrumento es muy utilizado para la toma de requerimientos y la definición del alcance.

1.7.2. Trello

Es un software que se usa para la administración de proyectos, esta herramienta cuenta con una aplicación web y móvil tanto para Android como iOS, entre sus principales características está el uso de tableros, tarjetas y listas, que facilitan la organización de actividades al momento de ejecutar un proyecto, además permite trabajar de forma colaborativa con todo el equipo del proyecto y llevar un informe del alcance y tiempo del mismo.

1.8. Máquinas industriales CNC

Los equipos industriales CNC, cuyas singlas significan Control Numérico por Computadora, son máquinas con comandos programados, las cuales son operadas por medio de un computador, permiten diseñar un modelo en software y realizar posteriormente la ejecución de este. Estas máquinas garantizan la precisión de las piezas moldeadas, sin importar el número de veces que se repita el mismo proceso, de tal forma que el error es mínimo, a diferencia del mismo proceso realizado de forma manual.

1.8.1. Torneado

Las máquinas de torneado son equipos industriales utilizados a nivel mundial, estos equipos, hacen girar una pieza sostenida en una estructura y por medio de una herramienta van cortando, dando así una forma cilíndrica a un material específico. Algunas de las operaciones que un torno puede realizar utilizando herramientas de corte y aditamentos necesarios son: hacer conos, cortar, tronzar, refrentear, taladrar, mandrinar, esmerilar, pulir, roscar y muchas más (Krar, Check, & Smid, 2002).

Las máquinas de torneado CNC, realizan movimientos accionados por servomotores, permitiendo realizar funciones de taladro y giro por medio de herramientas internas, moldeando así, piezas metálicas en superficies cilíndricas y facilitando cortes horizontales, verticales y curvos, además cuenta con un software para la simulación, el cual, permite automatizar los procesos que anteriormente se realizaba manualmente, esto hace la tarea más sencilla.

1.8.2. Fresado

Las máquinas fresadoras son equipos que producen modelos sobre piezas metálicas de una o más superficies con mayor precisión que otros equipos industriales. (Krar, Check, & Smid, 2002). Las fresadoras se pueden dividir en tres tipos:

- Las máquinas fresadoras horizontales simples.
- Las máquinas fresadoras horizontales universales.
- Las máquinas fresadoras verticales.

La diferencia de las máquinas fresadoras universales y simples es la incorporación de un bastidor sobre la mesa de sujeción, que permite cambiar el ángulo de giro de la mesa en el plano horizontal.

Las máquinas de fresado CNC, realiza trabajos en diferentes superficies, mediante un mecanizado de tres ejes, para la sujeción, corte y dirección. Estas máquinas cuentan con varias herramientas integradas y brazos robóticos, para el modelado de las piezas metálicas.

1.9. Marco de trabajo Scrum

Scrum, es un marco de trabajo que permite un trabajo cooperativo tanto para el equipo de desarrollo y el cliente (Gallego). La filosofía que adopta este marco de trabajo es iterativa, incremental, es decir es evolutivo y cuenta con varios ciclos repetitivos, a medida que se acaba un Sprint existe un entregable y revisión del mismo, por lo tanto, cuando se trabaja bajo Scrum, una característica del producto es que siempre el entregable será funcional y la cercanía con el Product Owner y cliente constante.

El equipo de Scrum está definido por los siguientes roles:

- Product Owner: es una persona que conoce el negocio del cliente y sus requerimientos.
- Scrum Master: es el encargado de gestionar que se cumpla con el marco de trabajo.
- Equipo de desarrollo: son un grupo de personas autoorganizadas, que trabajan para cumplir los objetivos de lo Sprint.
- Usuarios: son los destinatarios finales del producto.
- Stakeholders: Personas que serán afectadas o beneficiadas por el desarrollo del proyecto.

Los componentes y elementos para el procedimiento metodológico de Scrum son:

- Product Backlog: inventario de requisitos estructurales del producto o software a desarrollar, se construye en base a los requerimientos obtenidos y el conocimiento de la meta del producto, esta lista va evolucionando durante todo el proyecto y tiene que estar compuesto de los requisitos prioritarios, no es necesario que sea lo más detallado posible para que el equipo de desarrollo empiece a trabajar.
- Sprint Backlog: lista de tareas que elaboran el equipo de desarrollo durante la planificación del Sprint, asignadas a las personas del equipo y con duración determinada.

- Scrum-Board: es una herramienta que permite monitorear y organizar las tareas del proyecto, se fundamenta en 3 fases: tareas por hacer, tareas en proceso y tareas realizadas.
- Reuniones diarias: estas reuniones forman parte del marco de trabajo y su objetivo es mantener un seguimiento diario de los avances, problemas o dificultades del proyecto, la misma debe durar entre 10 – 15 minutos.

1.10. Alcance frontera del producto

El alcance frontera pretende crear una descripción general del producto, donde se identifica el límite de la aplicación, es decir, lo que incluye y no, se conoce también sus principales características, proporcionando una línea base para la construcción del Product Backlog. Esta definición ayuda a poder elegir adecuadamente el marco de trabajo bajo el cual se va a ejecutar y brinda una guía para la gestión del proyecto y las estimaciones del mismo.

CAPÍTULO II

2. Análisis y diseño de la aplicación

2.1. Elección SDK en base a sus características generales

Debido al crecimiento de la realidad aumentada, el incremento del kit de desarrollo de software y las herramientas ha dado cabida a un gran número de opciones. En este proyecto la realidad aumentada se utilizó para mostrar el uso de máquinas industriales de torneado y fresado dentro del ámbito educativo, ya que un buen aprendizaje sobre el funcionamiento de los equipos juega un papel fundamental no solo en la correcta utilización y manejo de los mismos, el cual repercute notablemente en su ciclo de vida y rendimiento a futuro, sino también en la curva de aprendizaje de los estudiantes en cuestión, a pesar de la existencia de manuales técnicos y de usuario para dichas máquinas, esto no es suficiente para enfrentar el uso de la maquinaria debido a su complejidad. La implementación de la realidad aumentada en una aplicación permite interpretar las instrucciones de manera sencilla e interactiva, a través de una interfaz que mezcla el mundo real con el virtual, dicho esto la elección del SDK para desarrollar la solución es fundamental ya que de la decisión de éste, depende la estructura y arquitectura que se implementó en la solución, por esa razón se ha decidido realizar una comparativa de algunos del kit de desarrollo de software más utilizados, publicados en Xataka Android en junio del 2017.

Tabla 4.
Comparación SDK's de realidad aumentada

SDK para realidad aumentada	Licencia	Plataformas Compatibles	Características Principales
Arcore	Libre	Java, Unity, Unreal, Android, iOS	<ul style="list-style-type: none">• Uso de anclas para situar objetos.<ul style="list-style-type: none">• Experiencias multiusuario.• Detección de imágenes.• Detección de planos y el entorno

Vuforia	Libre y Comercial	Android, iOS, Unity	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de imágenes • Detección de Vumark • Detección de Objetos • Rastreo de planos
EasyAR	Libre	Android, iOS, Unity	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de imágenes • Reconocimiento del espacio y entorno <ul style="list-style-type: none"> • Motion tracking • Detección de objetos • Detección por fotos • Múltiples objetivos de imagen
Artoolkit	Libre	Linux, Android, iOS, macOS y Unity	<ul style="list-style-type: none"> • Reconocimiento de marcadores (se debe usar un recuadro negro al rededor) • Tracking de superficies planas • Detección de marcas personalizadas (No simétricas)
Wikitude	Libre y comercial	Android, iOS, Xamarin, Unity, JavaScript	<ul style="list-style-type: none"> • Seguimiento de objetos. • Seguimiento de imágenes. <ul style="list-style-type: none"> • Geo Ar • Seguimiento de cilindros • Rastreadores múltiples
Kudan	Libre	Android. IOS, Unity	<ul style="list-style-type: none"> • Reconocimiento de imágenes. • Detección de MarKers • Detección del ambiente <ul style="list-style-type: none"> • Animación 3 Dimensiones

Nota: Muestra las principales características de los SDK más utilizados.
Elaborado por: Los autores.

Se ha decidido hacer pruebas con tres kits de desarrollo de software para evaluar los diferentes manejos de detección de targets y posicionamiento de objetos de realidad aumentada con el fin de conocer cuál es el que más favorece al proyecto, la elección de las herramientas de realidad aumentada se la realizó de acuerdo con los requerimientos del proyecto y un análisis

de las múltiples características que presenta cada una, y como estas influyen en el cumplimiento de los objetivos del mismo. Dentro de los requerimientos del proyecto se necesita una herramienta libre y compatible con Android, además la misma debe contar con múltiples opciones de detección de imágenes o marcadores y despliegue de realidad aumentada que facilite la implementación de instrucciones en base al reconocimiento de fotos, por esa razón se ha escogido los kits de desarrollo de software EasyAR 3.0.1, Vuforia y Arcore ya que contienen funciones completas de reconocimiento y posicionamiento de targets, además el reconocimiento de imágenes es más amplio y personalizado, es decir no necesita cumplir con algunas normas estrictas por ejemplo marcos negros alrededor de una imagen como es el caso de Artoolkit.

2.2. Pruebas SDK y experimentación

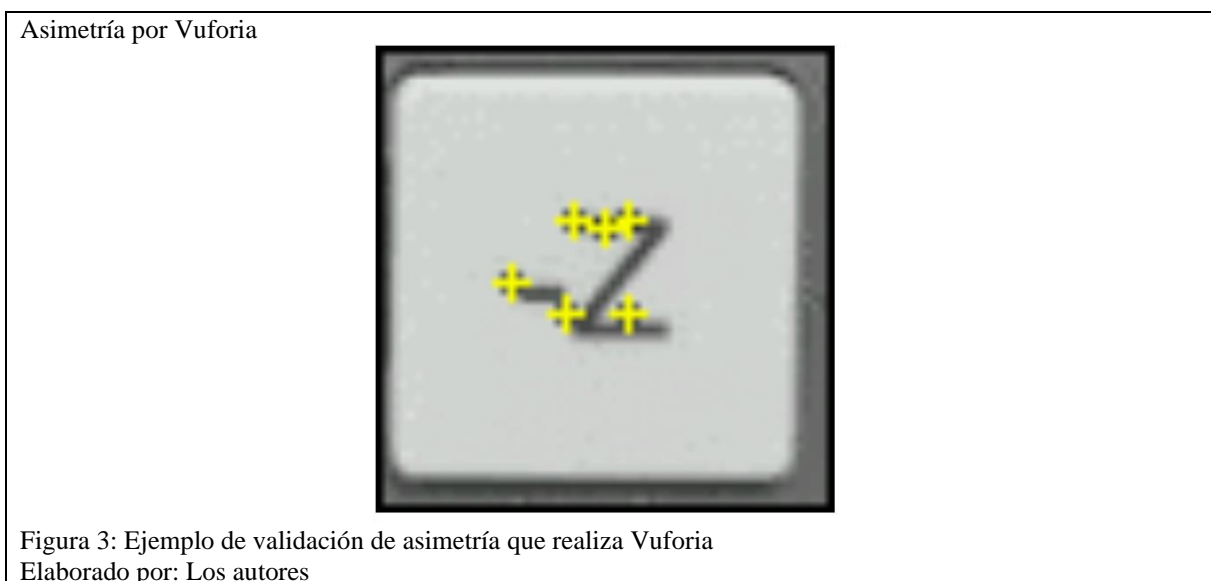
Se realizaron pruebas de los tres kits de desarrollo de software anteriormente elegidos, ya que los mismos cuentan con funcionalidades que pueden contribuir al desarrollo de la aplicación, el objetivo de esta experimentación es encontrar el kit de desarrollo de software que ayude a situar contenido de realidad aumentada en las máquinas de torneado y fresado de manera fácil, objetiva y exacta, a su vez permita visualizar los mismos de la mejor forma posible.

Para las pruebas con Vuforia se planteó usar las funcionalidades de detección de imágenes y detección de objetos, En la primera se toma una imagen, la cual se sube al servidor de Vuforia para verificar que cumpla con ciertas normas de claridad y asimetría de tal forma que se logre una buena detección de la misma, el servidor emite el resultado llamado Clasificación, el cual, si la imagen cumple con las normas especificadas la clasificación es de 5 estrella, para ser reconocida debe al menos tener 4 estrellas, se puede observar en la figura 1, la creación de la base de datos Vuforia con 2 imágenes objetivo dentro.

Base de datos en Vuforia		
Base de datos	Tipo	Objetivos
BaselImageTarget	Dispositivo	2

Figura 2: Ejemplo de un registro de una base de datos en el portal de Vuforia.
Elaborado por: Los autores

En la siguiente figura 2, se muestra, la imagen de un botón perteneciente a la máquina de torneado, en la cual las cruces amarillas muestran la validación asimétrica por parte de Vuforia sobre la imagen.



La presente figura muestra la construcción del aplicativo de prueba para Vuforia, donde se asigna un componente Cubo sobre la imagen del botón mencionado anteriormente, el mismo que en ejecución será visible mediante realidad aumentada.

Asignación de componentes

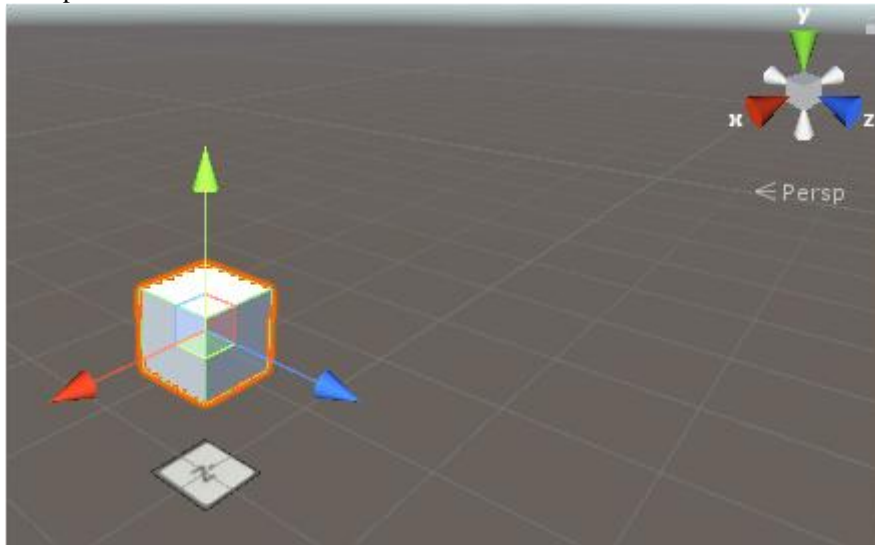


Figura 4: Ejemplo de asignación del objeto de realidad aumentada a un componente.
Elaborado por: Los autores

En el caso de detección de objetos, se necesitó descargar una aplicación de escaneo de Vuforia, la misma que escanea el objeto solo si está situado sobre una plantilla prefabricada, en la figura 4 se puede observar dicha plantilla, una vez hecho ese proceso se debe subir el resultado al mismo servidor antes mencionado, tomando en cuenta que se debe escoger la opción “3D Object” cuando se suba los datos, como se muestra en la figura 5, en los dos casos de prueba realizados en Vuforia, después que los targets hayan sido aceptados por el servidor se puede descargar un paquete con el contenido, el cual se lo importa en Unity para agregarlo a una escena y situar los componentes de realidad aumentada deseados.

Plantilla para escanear

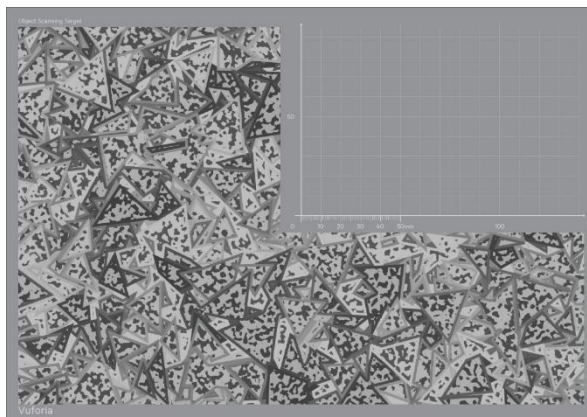






Figura 5: Plantilla de ejemplo con asimetría múltiple que permite escanear objetos Vuforia.

Subir un objeto a Vuforia

Add Target

Type:

Single Image Cuboid Cylinder 3D Object

File:

File must be Vuforia Object Scanner data. For more information, see the Vuforia Object Scanner Application.

Name:

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

Figura 6: Vista del portal de Vuforia para subir un nuevo objeto

Elaborado por: Los autores

En el caso de Arcore se decidió utilizar la funcionalidad de anclaje multijugador, en la cual a través de la cámara se sitúa un punto de anclaje, que ayudará a mantener ubicadas las coordenadas de los objetos de realidad aumentada referente a un entorno real, como se evidencia en la figura 6, en donde, en la sala 5155, se ha colocado un ancla en el centro del teclado de ejemplo; una vez el sistema ha reconocido el ancla, se puede colocar los objetos a mostrar y posteriormente se los visualizará de la misma manera desde las diferentes sesiones a las cuales se ingresa mediante un código.

Detección de objetos con Arcore

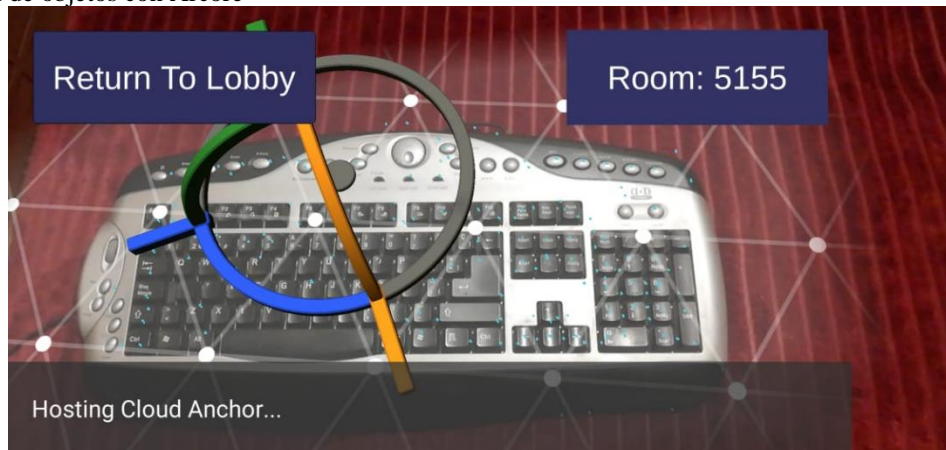
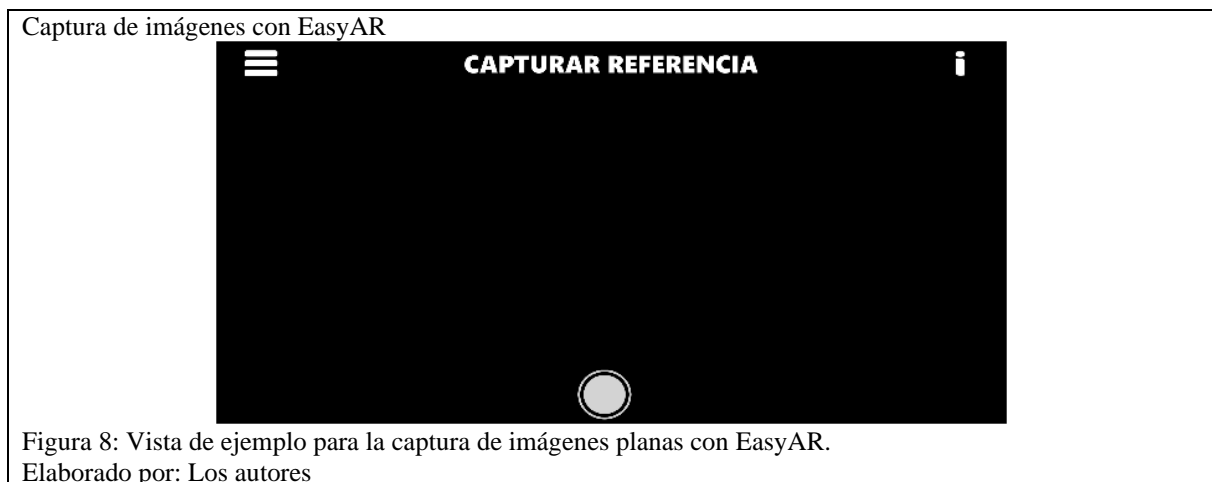


Figura 7: Ejemplo de detección de planos y anclas en una sesión Arcore.

Elaborado por: Los autores

Finalmente se realizaron pruebas con el kit de desarrollo de software EasyAr, en donde se utilizó la funcionalidad TargetOnTheFly (detección de fotos), la cual consiste en tomar una foto en tiempo de ejecución, la misma que es guardada dentro del proyecto, en la figura 7, se muestra la escena encargada de capturar una imagen plana en tiempo real; tras volver a enfocar al objeto capturado, la aplicación realiza una detección de imágenes, lo que hace que aparezca sobre la misma el contenido de realidad aumentada deseado.



2.3. Resultados SDK

Una vez realizada la experimentación los resultados obtenidos fueron los siguientes, en la detección de imágenes del kit de desarrollo de software Vuforia se notó que la cámara las reconoce bien a pesar de la distancia y el tamaño de las mismas, sin embargo, las imágenes deben contar con ciertas normas como buen contraste y asimetría para poder ser identificadas, en las pruebas realizadas sobre los botones de las máquinas, varias de las fotografías no fueron aceptadas por el servidor, ya que no cumplían con los parámetros necesarios, como ejemplo, se puede observar en la figura 8, que la imagen de un botón perteneciente a la máquina de torneado ha obtenido una clasificación de 0, es decir no es apto para el reconocimiento.



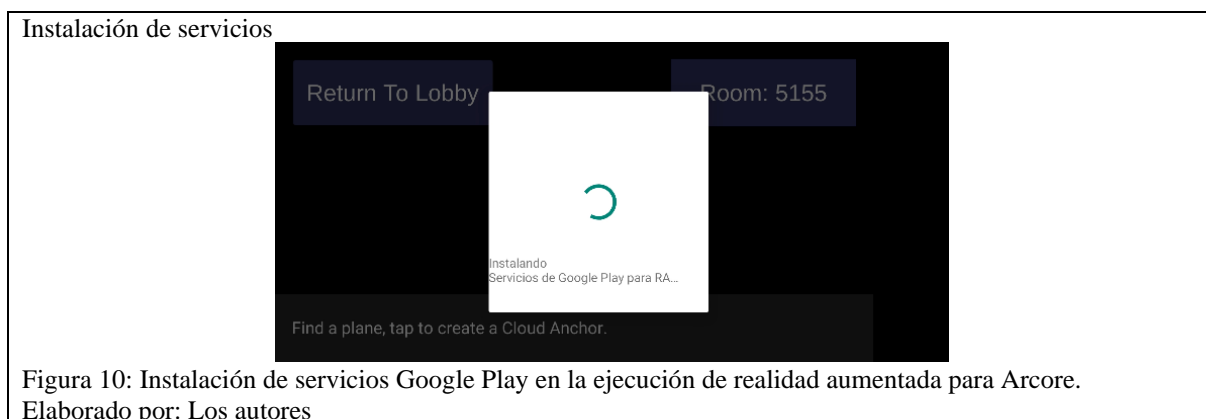
Clasificación de imágenes en Vuforia		
<input type="checkbox"/> Nombre objetivo	Tipo	Clasificación ⓘ
<input type="checkbox"/>  boton	Imagen individual	★★★★★
<input type="checkbox"/>  Matriz-1	Imagen individual	★★★★★

Figura 9: Resultados de clasificación de imágenes en Vuforia, al detectar la asimetría de estas.
Elaborado por: Los autores

Al hacer la prueba con el mismo kit de desarrollo de software y la función de detección de objetos, se identificó que para escanear un objeto grande como las máquinas era necesario hacer un modelo 3 Dimensiones para que entrará sobre la plantilla prefabricada, lo cual no hacía sencillo ni eficiente la implementación de contenido de realidad aumentada para el módulo de instrucciones del proyecto, en el caso de Arcore el poder implementar el contenido en tiempo de ejecución ayudaría a que la aplicación sea más objetiva y sencilla, además se pudo evidenciar que el anclaje permite que los objetos de realidad aumentada se mantengan en la posición exacta ubicada dentro del entorno real, sin embargo, las limitaciones de esta funcionalidad no aportan al proyecto por ejemplo solo se puede tener hasta 20 sesiones habilitadas para un mismo entorno, se puede evidenciar la configuración multijugador, que muestra el número de sesiones máximas para una aplicación en la figura 10, por otro lado las versiones de Android que son compatibles con este kit de desarrollo de software son pocas, además las compatibles deben descargar una aplicación propia de Arcore, para que funcione la realidad aumentada, como se observa en la figura 9, este paso es obligatorio.



Configuración de Arcore en Unity

Current configuration	
SUBSCRIPTION PLAN	personal
GLOBAL CCU AVAILABLE	20
TOTAL CCU USED	0
CCU USED BY THIS PROJECT	0
MAX PLAYERS	20

Figura 11: Configuración para acciones multiplayer de Arcore en Unity.
Elaborado por: Los autores

En la siguiente figura se muestra la ejecución de la aplicación de prueba mediante Arcore en donde se sitúa un objeto “estrella” sobre el teclado el mismo será posteriormente ubicado gracias al ancla situada en el centro del mismo.

Ejemplo Arcore

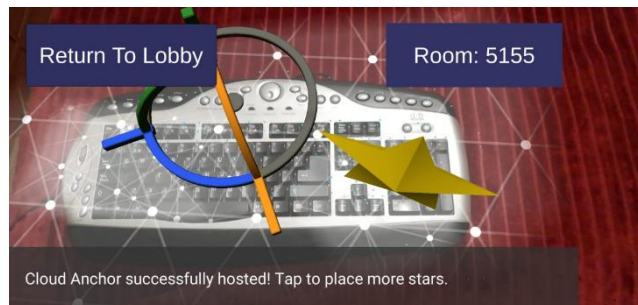


Figura 12: Resultado de situar objeto sobre un plano.
Elaborado por: Los autores

Por último, los resultados obtenidos en EasyAr, demostraron que este sería la mejor opción para el desarrollo del aplicativo ya que se puede implementar el contenido de realidad virtual de manera sencilla en tiempo de ejecución y a su vez se puede ubicar el objeto en la posición deseada sobre la imagen, además este kit de desarrollo de software reconoce cualquier imagen sin necesidad de que está cumpla con normas preestablecidas, como se puede evidenciar en la siguiente figura, en donde se muestra un cubo predeterminado de este kit de desarrollo, sobre el teclado el cual fue anteriormente capturado.

Ejemplo EasyAR



Figura 13: Resultado detección a través de imagen plana.

Elaborado por: Los autores

2.4. Comportamiento y funcionalidad de la aplicación

2.4.1. Casos de Uso

La siguiente figura 13, se muestra el módulo de autenticación con los diferentes actores que interactúan en la aplicación. Se puede observar que los estudiantes deben registrarse escaneando el código del docente para poder iniciar sesión en la aplicación.

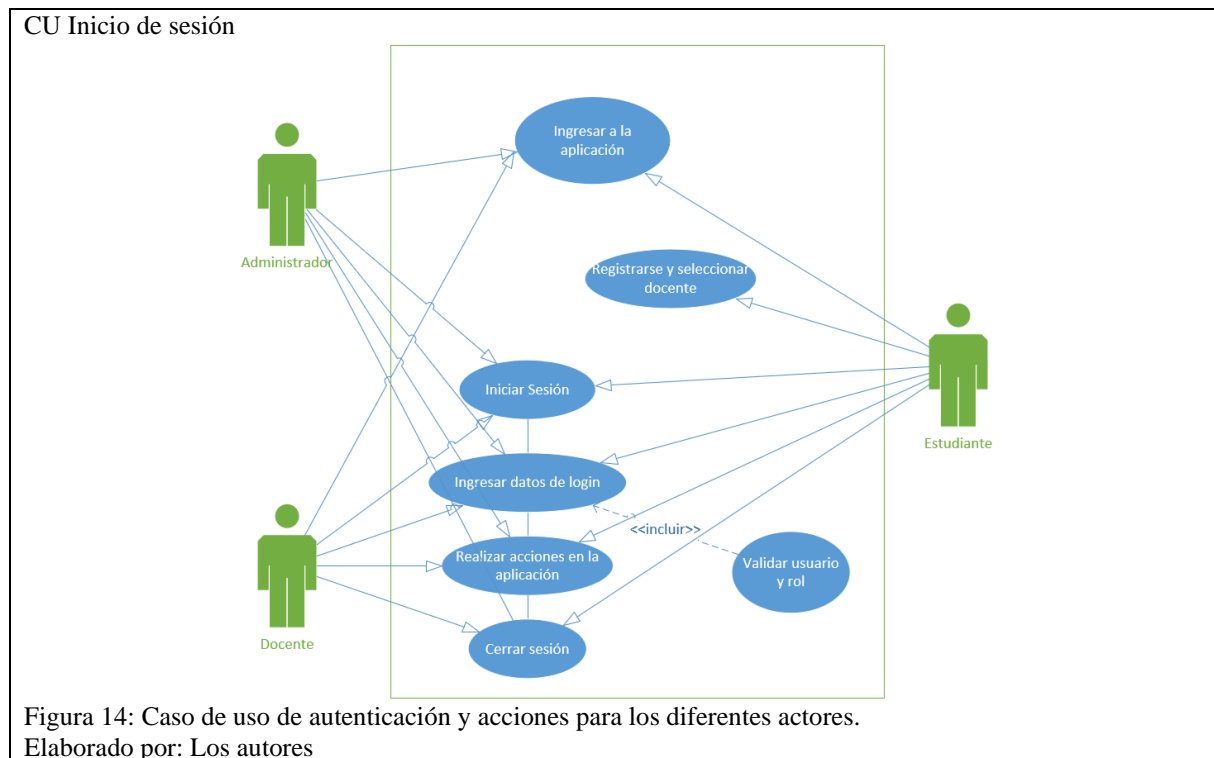


Figura 14: Caso de uso de autenticación y acciones para los diferentes actores.

Elaborado por: Los autores

La figura 14, muestra el módulo de instrucciones que es establecido por el administrador de la aplicación, que es la persona que trabaja directamente en los laboratorios. Además, asigna los indicadores en el escenario que fue seleccionado y registra a los docentes que trabajaran en la aplicación.

CU Instrucciones administrador

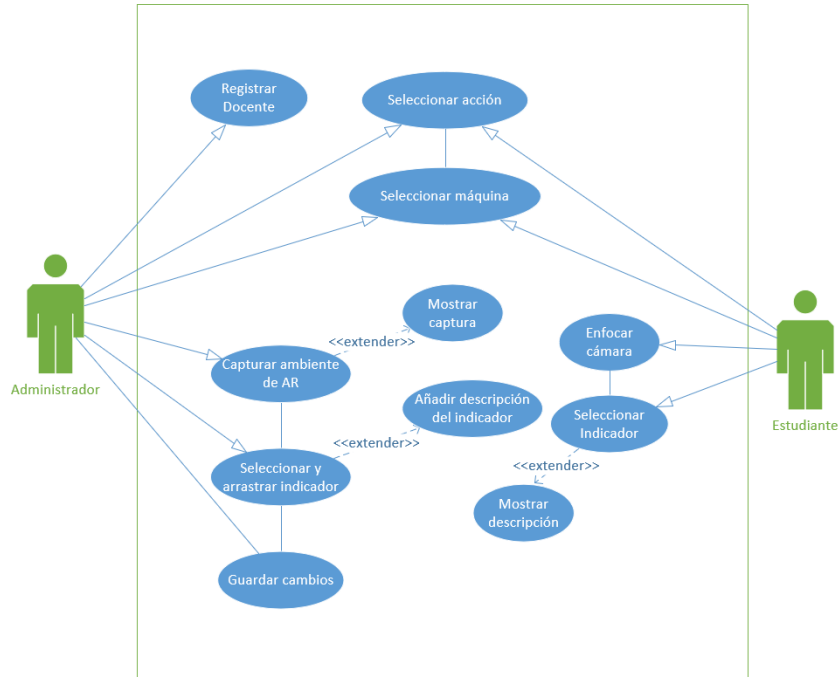


Figura 15: Caso de uso para la creación de indicadores y visualización por el administrador y el estudiante. Elaborado por: Los autores

El módulo de evaluación se muestra en la siguiente figura 15. En este caso, el docente es el encargado de añadir los indicadores de evaluación, registrar las preguntas y las opciones múltiples de respuestas. Los estudiantes realizan la evaluación y visualizan su calificación de las preguntas resueltas.

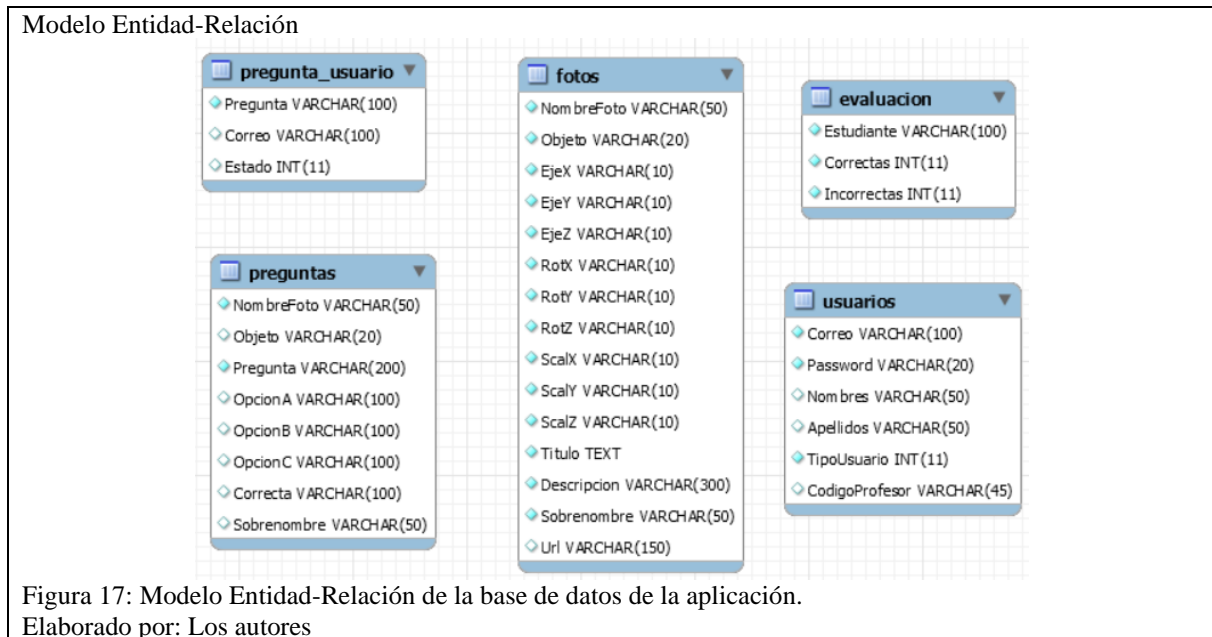
CU Evaluación



Figura 16: Caso de uso del ambiente de evaluación y la interacción de los actores. Elaborado por: Los autores

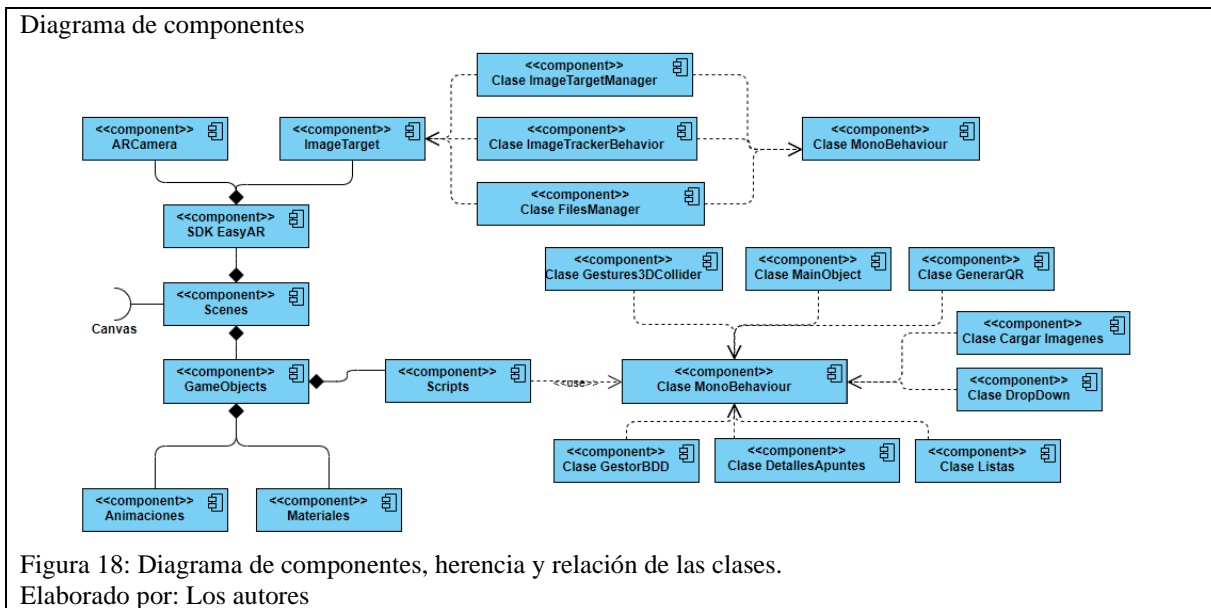
2.4.2. Diagrama de entidad – relación

Para el modelo entidad – relación de base de datos, se trabajó con las entidades como se muestra en la figura. En estas entidades, se almacena los registros de los escenarios de trabajo y los indicadores dependiendo del ambiente y los actores que están interactuando con la aplicación.



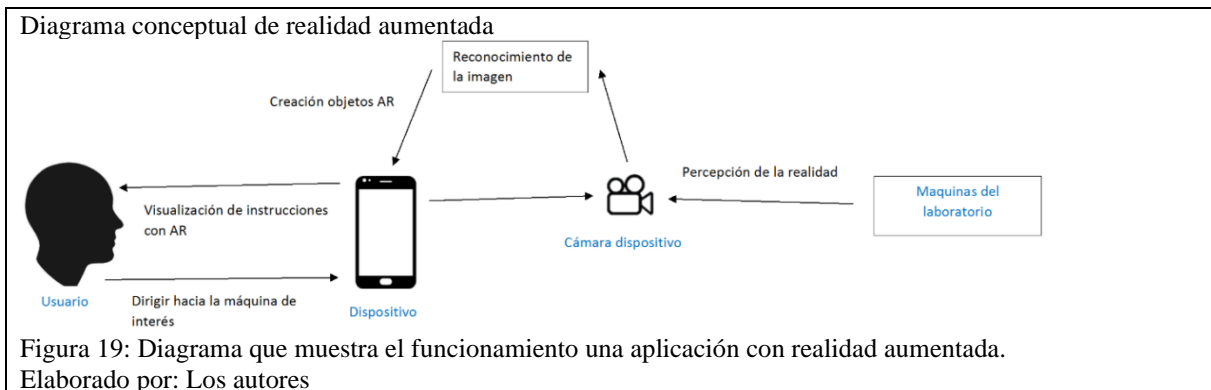
2.4.3. Diagrama de componentes

En la figura 18 se evidencia el diagrama de componentes, el mismo permite entender de mejor manera la estructura y las clases de la aplicación, dado que en Unity las clases se manejan como componentes que son llamados o relacionados a un GameObject dentro de una escena.



2.4.4. Diagrama conceptual de realidad aumentada

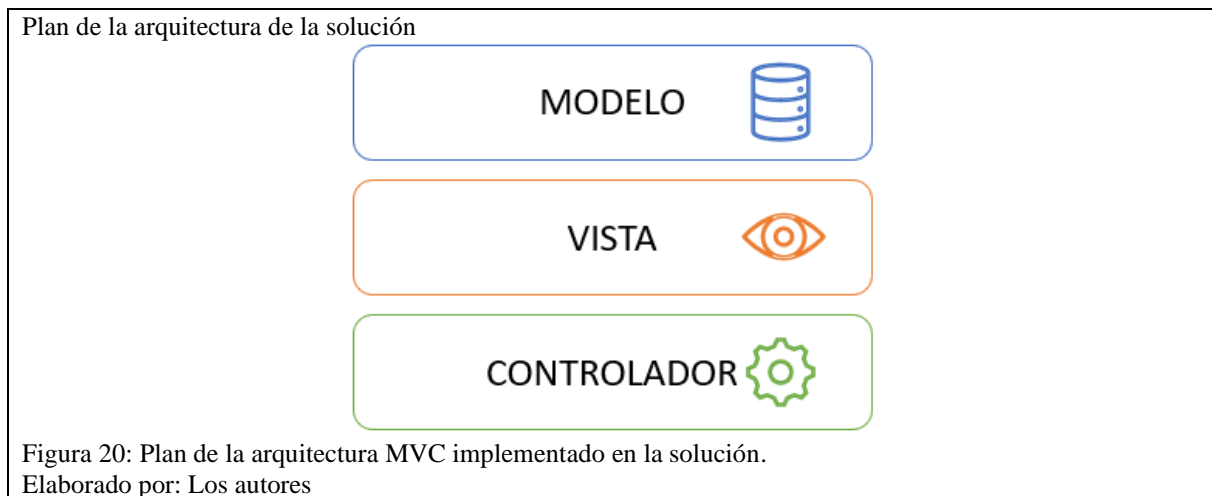
En la siguiente imagen, se muestra cómo es el funcionamiento de la aplicación trabajando con realidad aumentada. La idea principal de la aplicación de realidad aumentada es sobreponer objetos (en este caso indicadores) en el escenario donde la cámara del dispositivo está siendo enfocada, por ejemplo: las máquinas del laboratorio CNC.



2.5. Planteamiento de la arquitectura de la solución

Para la solución, se planteó trabajar bajo el modelo arquitectónico MVC (Modelo-Vista-Contralador), a pesar de que no es una aplicación web incorpora elementos de esta, como clases PHP que se ejecutan del lado del servidor, las mismas que para interactuar con las escenas (vista) necesitan comunicarse a través de un controlador.

A continuación, se detalla las capas del modelo arquitectónico planteado para la solución:



- Vista: La escena generada por Unity es la capa de visualización que permite la interacción entre la aplicación y los usuarios, por medio de los componentes visuales de 2 Dimensiones y 3 Dimensiones, como son: prefabs, animaciones, materiales, texturas e interfaz de usuario (Canvas).
- Controlador: La capa de controlador es la codificación o programación que presenta Unity para asignar acciones a un componente de la interfaz y realizar cálculos de la aplicación, además de conectarse con la capa modelo de datos. Esta capa se compone de scripts de C#, las que son invocadas por medio de GameObjects en las escenas.
- Modelo: La capa modelo contiene clases PHP para la conexión entre la base de datos y el controlador, las cuales permiten realizar acciones de ingreso, modificación, selección y eliminación de datos.

2.5.1. Diagrama arquitectónico de la solución

En la figura 36, se presenta la arquitectura en la que se desplegó la aplicación de realidad aumentada, en esta, se puede observar de manera general, como es el flujo de interacción desde el usuario, hasta el gestor de base de datos. En primera instancia el usuario interactúa con la parte visual de la aplicación, realizando diferentes acciones que requiera ejecutar durante su

uso. La aplicación obtiene las peticiones e información que el usuario ingrese por medio de la conexión entre el ambiente de interfaz y el ambiente de codificación, en el que, se manipula estos datos para realizar transformaciones y cálculos respectivos, también, el ambiente de codificación mediante solicitudes HTTP se conecta con la aplicación web. La aplicación web a su vez obtiene las solicitudes del ambiente de codificación y realiza peticiones HTTP al gestor de base de datos, estas peticiones pueden ser para consultar, ingresar, actualizar y eliminar información. Así, es posible cumplir el modelo arquitectónico presentado en el plan.

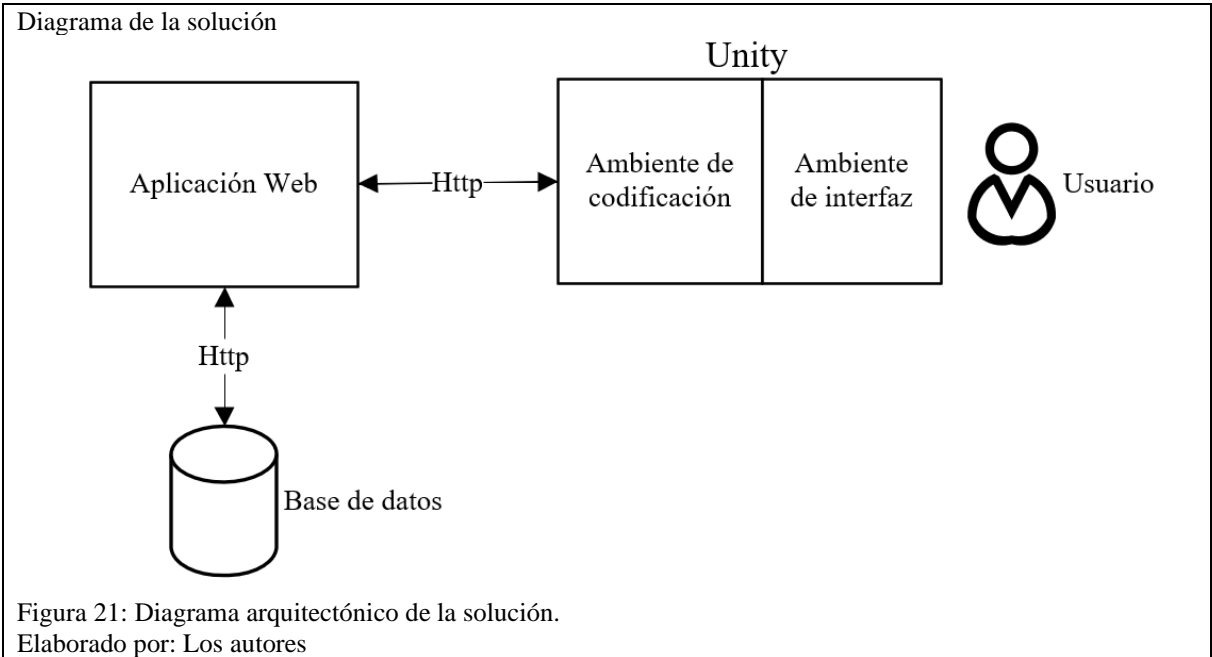


Figura 21: Diagrama arquitectónico de la solución.
Elaborado por: Los autores

CAPÍTULO III

3. Construcción y pruebas de la aplicación

3.1. Arquitectura de la solución

Basado en el planteamiento de la arquitectura, la solución fue construida conforme al modelo arquitectónico MVC, que cuenta con los siguientes elementos distribuidos en cada capa:

Vista

Tabla 5.
Lista de elementos en la capa de Vista

Prefabs	
Indicador de descripción (Flecha)	Elemento visual que indica la descripción de un objeto
Indicador de etiquetado (Marker)	Elemento visual que permite etiquetar un objeto, por ejemplo, un título o una numeración
Indicador de evaluación (Esfera)	Elemento visual que indica la existencia de una pregunta sobre un objeto
Animaciones	
Animación de movimiento	Permite mostrar y ocultar ventanas emergentes, mediante un movimiento vertical dentro del Canvas
Texturas	
Material para indicadores	Es el elemento que da el color base a los indicadores
Imágenes	Son las imágenes utilizadas para la interfaz de usuario como: las máquinas de torneado y fresado.
Interfaz de usuario	
Escena de autenticación	Permite el inicio de sesión del usuario
Escena de registro	Permite el registro de usuarios
Escena de menú de navegación	Permite seleccionar la máquina y una parte específica de la misma.
Escena de realidad aumentada	Permite capturar un escenario y sobreponer objetos de realidad aumentada sobre este

Nota: Muestra las escenas creadas en Unity que conforman la capa Vista de la solución.
Elaborado por: Los autores.

Controlador

Tabla 6.
Lista de elementos en la capa Controlador

Clase	Descripción
GestorBDD	Esta clase permite realizar y validar la autenticación y creación de usuarios
DetallesApuntes	Permite la creación de un registro en la lista de notas
Dropdown	Permite controlar la animación de las ventanas
CargarImagenes	Registra las coordenadas de los indicadores de realidad aumentada asignadas a un entorno
TargetOnFly	Permite capturar el entorno base sobre el cual se implementará la realidad aumentada
GenerarQR	Se encarga de generar el código QR respectivo del docente
MainObject	Permite clonar los indicadores de realidad aumentada
Gestures3DCollider	Contiene los métodos de arrastrar y soltar para los indicadores de realidad aumentada
FilesManager	Permite guardar las imágenes del entorno real en el servidor PHP
ImageTrackerBehavior	Es una de las clases nativas del SDK EasyAR encargada del reconocimiento de imágenes y realidad aumentada
ImageTargetManager	Se encarga de cargar las imágenes capturadas, convertirlas a GameObject y situar la realidad aumentada en las mismas
Listas	Obtiene todos los registros de los entornos capturados

Nota: Muestra los scripts C# que componen el controlador de la solución.
Elaborado por: Los autores.

Modelo

Tabla 7.
Lista de elementos en la capa Modelo

Index.php	Realiza la consulta de usuarios y su tipo en la base de datos.
RegistrarUsuario.php	Registra usuarios estudiantes en la base de datos
RegistroFotos.php	Registra la información de las fotos capturadas como coordenadas de los indicadores
RegistroPreguntas.php	Registra las preguntas y respuestas referentes a una imagen
ObtenerFoto.php	Obtiene la información de las fotos guardadas
ObtenerPregunta.php	Obtiene las preguntas referentes a una evaluación

Nota: Muestra las clases PHP que conforman la aplicación web y permiten la conexión de la aplicación con la base de datos.
Elaborado por: Los autores, a partir

3.2. Preparación del ambiente de desarrollo

Es importante antes de iniciar la construcción de la aplicación, preparar el ambiente de desarrollo y hacer las configuraciones necesarias en las herramientas seleccionadas, en el presente capítulo se redacta como fue la preparación del entorno de Unity y la integración del mismo con el kit de desarrollo de software EasyAR.

3.2.1. Preparación del entorno Unity

Para iniciar la construcción de la aplicación se debe realizar ciertas configuraciones previas en la plataforma de desarrollo Unity 2019.2.12f1, ya que el aplicativo está dirigido a dispositivos Android, se descargó el kit de desarrollo de software de Android, una vez instalado se construyó un nuevo proyecto en Unity Android, y finalmente en las configuraciones del proyecto se seleccionó la versión mínima de Android con la cual funcionaría en el entorno de producción, en este caso se utilizó la API 17, es decir Android 4.2, también se configuró el nombre y la orientación de la aplicación para el ambiente de producción; Es importante definir la API mínima de Android, en la etapa de preparación del ambiente de desarrollo, ya que a partir de ello, funcionan los kit de desarrollo de software externos, ciertas funcionalidades de código y plugins en el aplicativo.

3.2.2. Integración de Unity con EasyAR

Para empezar a utilizar el kit de desarrollo de software EasyAR en la aplicación, se descargó el complemento para Unity, en este caso la versión 3.0.1, última versión lanzada hasta el momento de la construcción del producto. Una vez descargado se importó el paquete al proyecto Unity, que contiene los Scripts, Prefabs, Resources y Scenes de cada funcionalidad que brinda EasyAR. Para que la aplicación pueda utilizar el kit de desarrollo de software se la debe registrar en una cuenta de desarrollador de EasyAR, en dicha cuenta se colocó el nombre de la aplicación y el nombre del paquete Android, estos datos son los mismos que los configurados en el proyecto Unity, una vez guardado el registro, se nos otorgó un API KEY, el mismo que

funciona únicamente para la aplicación registrada y a su vez esta clave se ingresó dentro del proyecto Unity en la función de inicialización del kit de desarrollo de software de realidad aumentada.

En la presente imagen se evidencia la aplicación registrada dentro de la cuenta de desarrollador de EasyAR.

Registro en EasyAR					
Nombre	Tipo de sentido	Fecha de creación	Fecha de caducidad	Regalo gratis	Acción
ARLaboratorio	3.0 Básico	2019-12-28 19:49	-	-	Ver

Figura 22: Muestra del registro de la aplicación en EasyAR.
Elaborado por: Nathaly Jaramillo

3.3. Desarrollo del módulo de realidad aumentada

El módulo de realidad aumentada dentro de la aplicación es el encargado de situar y visualizar los diferentes indicadores, los cuales son los objetos que van a aparecer al frente de las diferentes partes de las máquinas de torneado y fresado e indicarán las instrucciones para su funcionamiento. Se definieron tres indicadores; La flecha ayuda a mostrar una instrucción específica y añadir una descripción que brinde más información sobre lo mostrado, el marker es un objeto cuyo propósito es más general, se puede utilizar para mostrar una ubicación o sección y permite poner un título, finalmente el signo de evaluación es el que indicará que existe una evaluación, es decir una pregunta sobre el objeto en el que se muestra, la misma deberá ser contestada por los estudiantes.

3.3.1. Uso de la funcionalidad TargetOnTheFly EasyAR

Para la implementación del módulo de instrucciones y evaluación con realidad aumentada, se utilizó la funcionalidad TargetOnTheFly del kit de desarrollo de software EasyAR, esta funcionalidad permite tomar una foto sobre cualquier objeto, y posteriormente tras visualizar el objeto capturado, hace un proceso de reconocimiento de imagen, en donde compara si lo que está siendo capturado en el entorno a través de la cámara, es igual a alguna

imagen dentro del directorio local, si es así, muestra sobre ella un indicador previamente establecido sobre el centro de la imagen. Esta funcionalidad consta de algunas clases principales que ayudan a este proceso, las mismas son clases propias de kit de desarrollo de software de realidad aumentada, La clase FilesManager es la encargada de manejar el almacenamiento de las imágenes que se toman, en la figura 20 se evidencia el método encargado de esta funcionalidad, el script ImageTargetController cargan una imagen como gameobject, y es la conexión con las clases principales de EasyAR como ImageTrackerBehaviour, Target, TargetType, ImageTarget, que son las encargadas de gestionar el reconocimiento de imágenes y todas las acciones propias de realidad aumentada para que funcione dentro de un dispositivo, finalmente la clase ImageTargetManager añaden los indicadores sobre un objeto foto, tras haberlo reconocido.

```

Cargar imágenes
IEnumerator CargarDatos(byte[] data)
{
    string img_nombre = nombre + ".jpg";
    var primeraCarpeta = "";
    if(GestionBDD.CodigoCurso.Length > 2 && MenuLateral.enviar == "evaluacion")
    {
        primeraCarpeta = GestionBDD.CodigoCurso.ToUpper() + "/" + MenuLateral.enviar;
    } else
    {
        primeraCarpeta = MenuLateral.enviar;
    }
    string urlPhp = "http://localhost/ComAr/GuardarImagen.php?carp1=" +
        primeraCarpeta + "&carp2=" + MenuLateral.enviarM;
    WWWForm postForm = new WWWForm();
    postForm.AddBinaryData("file", data, img_nombre, "image/jpeg");
    WWW upload = new WWW(urlPhp, postForm);
    yield return upload;
}

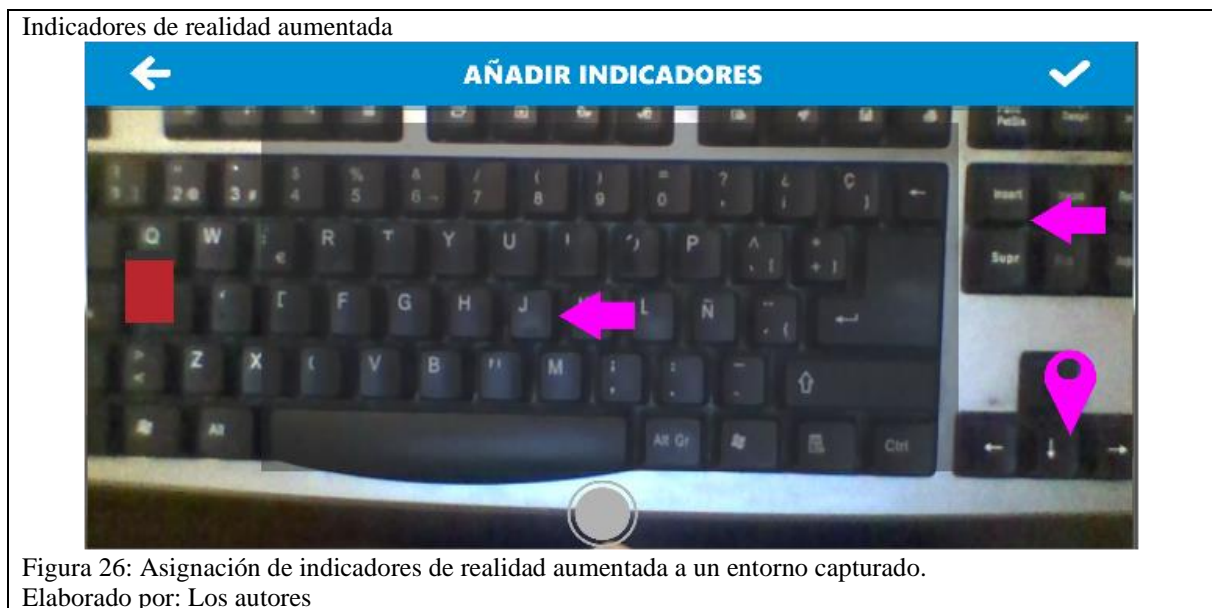
```

Figura 23: Método para almacenar imágenes de la clase FilesManager.
Elaborado por: Los autores

3.3.2. Posicionamiento de indicadores sobre una imagen

En esta parte del proyecto se utilizó la funcionalidad mencionada en el anterior subtema, en la misma se modificó la clase FilesManager para guardar la imagen en un servidor y no de manera local, de tal forma que todos los usuarios tengan acceso al mismo contenido, para

Para el posicionamiento de un indicador sobre una imagen se creó una nueva escena en la cual se presenta la imagen antes tomada, cuidando que las Dimensiones sean las mismas con las que se guardó en el servidor, esta clase, además permite arrastrar un indicador a cualquier posición de la foto, una vez situada se toman las coordenadas y se guardan en la base de datos junto con el nombre de la foto a la que pertenece, se puede guardar múltiples indicadores referentes a la misma fotografía.



Las coordenadas de un indicador se obtienen con el siguiente código, el cual capta las posiciones x,y,z cuando un indicador es soltado en la pantalla, este método es propio de Unity.

Captura de coordenadas

```
public void OnEndDrag(PointerEventData eventData)
{
    var posicion = objeto.transform.position.x
        + "/" + objeto.transform.position.y + "/" + objeto.transform.position.z;
    var rotation = objeto.transform.rotation.x
        + "/" + objeto.transform.rotation.y + "/" + objeto.transform.rotation.z;
    var scala = objeto.transform.localScale.x
        + "/" + objeto.transform.localScale.y + "/" + objeto.transform.localScale.z;
}
```

Figura 27: Método para la captura de coordenadas desde Unity.
Elaborado por: Los autores

3.3.3. Obtención de indicadores y visualización con realidad aumentada

Para la obtención de los indicadores sobre un objeto se utilizó la funcionalidad antes mencionada para el reconocimiento de imagen, y se editó la clase ImageTargetManager, para que lea varios indicadores, y situé el objeto en la posición especificada, en el siguiente fragmento de código se observa cómo se obtienen las coordenadas de los indicadores desde la base de datos, a través de una clase externa .php, el resultado de la clase externa trae los datos con el id de la foto, las coordenadas de posición, rotación y escala en (X, Y, Z) y el texto anexo a cada indicador.

Obtener coordenadas

```
WWW conection = new WWW("http://localhost/ConnAr/ObtenerFoto.php?foto=" + photoname);  
yield return conection;  
string resultado = conection.text;  
string[] consulta = resultado.Split('*');
```

Figura 28: Ejemplo de conexión para obtener las coordenadas de la base de datos.

Elaborado por: Los autores

Posteriormente se llama al objeto foto como un gameobject transparente y se cambia la posición del gameobject indicador (flecha, marker o evaluación) para que aparezca sobre la imagen.

Cargar indicadores de realidad aumentada

```

var objeto = Instantiate(Resources.Load("HelloAR_TargetOnFly/Prefabs/" + objF)) as GameObject;
Transform target = objeto.transform;
var Xscala = x - (x * 0.902f);
var Yscala = y - (y * 0.902f);
var XSscala = sx - (sx * 0.902f);
var YSscala = sy - (sy * 0.902f);
var ZSscala = sz - (sz * 0.902f);
var setX = float.Parse(Xscala.ToString(System.Globalization.CultureInfo.InvariantCulture),
    System.Globalization.CultureInfo.InvariantCulture);
var setY = float.Parse(Yscala.ToString(System.Globalization.CultureInfo.InvariantCulture),
    System.Globalization.CultureInfo.InvariantCulture);
var setXS = float.Parse(XSscala.ToString(System.Globalization.CultureInfo.InvariantCulture),
    System.Globalization.CultureInfo.InvariantCulture);
var setYS = float.Parse(YSscala.ToString(System.Globalization.CultureInfo.InvariantCulture),
    System.Globalization.CultureInfo.InvariantCulture);
var setZS = float.Parse(ZSscala.ToString(System.Globalization.CultureInfo.InvariantCulture),
    System.Globalization.CultureInfo.InvariantCulture);

target.transform.position = new Vector3(setX, setY, 0.0f);
target.transform.Rotate(rx, ry, rz, Space.Self);
target.transform.localScale = new Vector3(setXS, setYS, setZS);
objeto.transform.parent = imageTarget.transform;
objeto.name = sobren;

```

Figura 29: Ejemplo para la cargar indicadores de realidad aumentada a una imagen.
Elaborado por: Los autores

Es importante recalcar que para que las coordenadas sean lo más cercanas posibles a como se situaron, se necesitó hacer una fórmula matemática, en base a las coordenadas originales obtenidas de la base de datos, esto se aplicó para la posición en el eje X, Y, y escala en las tres Dimensiones.

$$X = X_{base} - (X_{base} * 0.902)$$

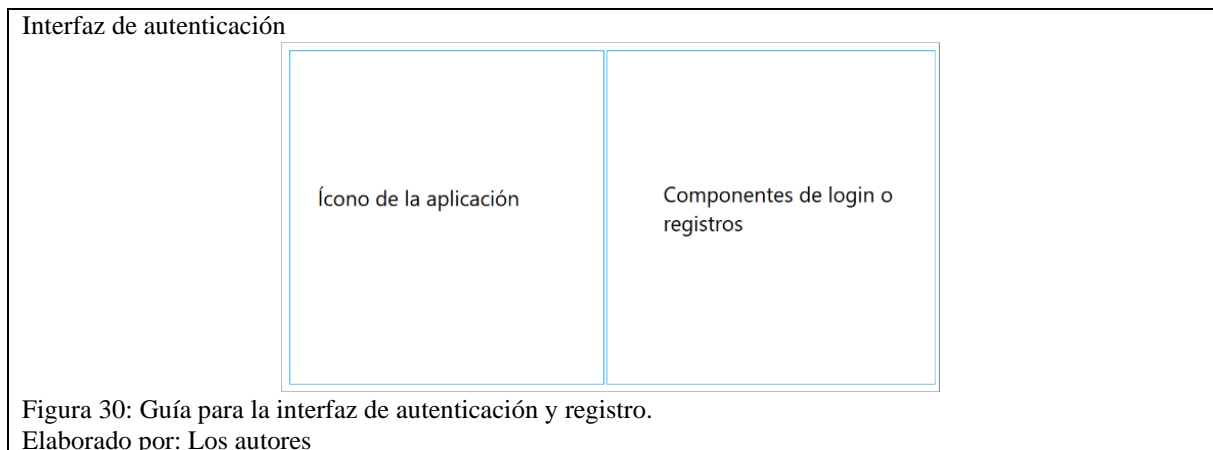
Por último, se utilizó la librería de Unity System.Globalization.CultureInfo.InvariantCulture para que los decimales funcionen correctamente en el celular.

3.4. Desarrollo interfaz de usuario a través del Canvas de Unity

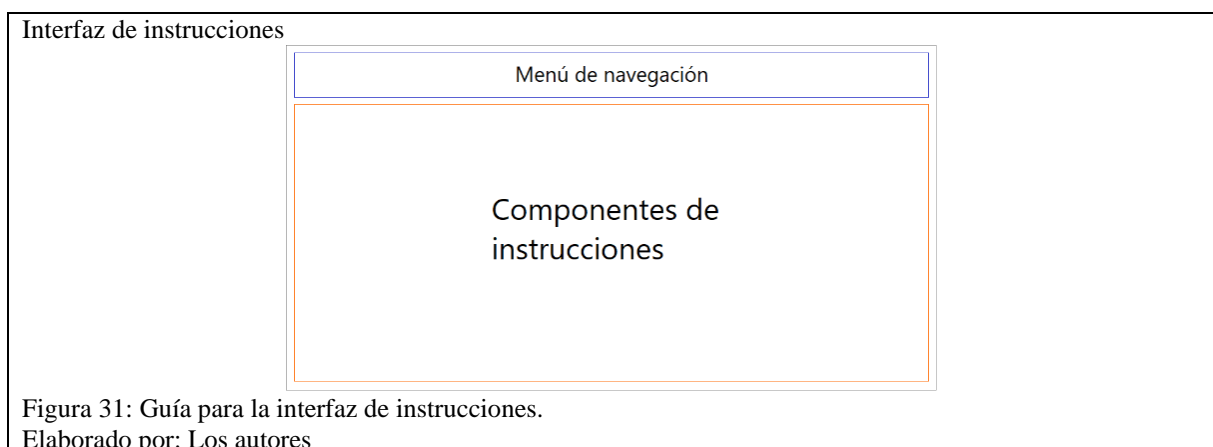
En el desarrollo de la interfaz de usuario, se utilizó los componentes internos 2 Dimensiones y 3 Dimensiones de Unity, por ejemplo: panel, botón, texto, imagen, etc., adecuándolos a las escenas de las vistas para los diferentes perfiles de la aplicación. Para ello se desarrolló tres tipos de interfaces buscando que sean amigables al usuario y de que sean

adaptables al los distintos tamaños de los dispositivos móviles, a continuación se describen las interfaces:

- Inicio de sesión y registros: en la figura 28, se muestran cómo fue dividida la pantalla, para las escenas tanto de autenticación como de registro, cada una con sus respectivos componentes de visualización. En estas escenas, se utilizó componentes de tipo input, label, button e image.

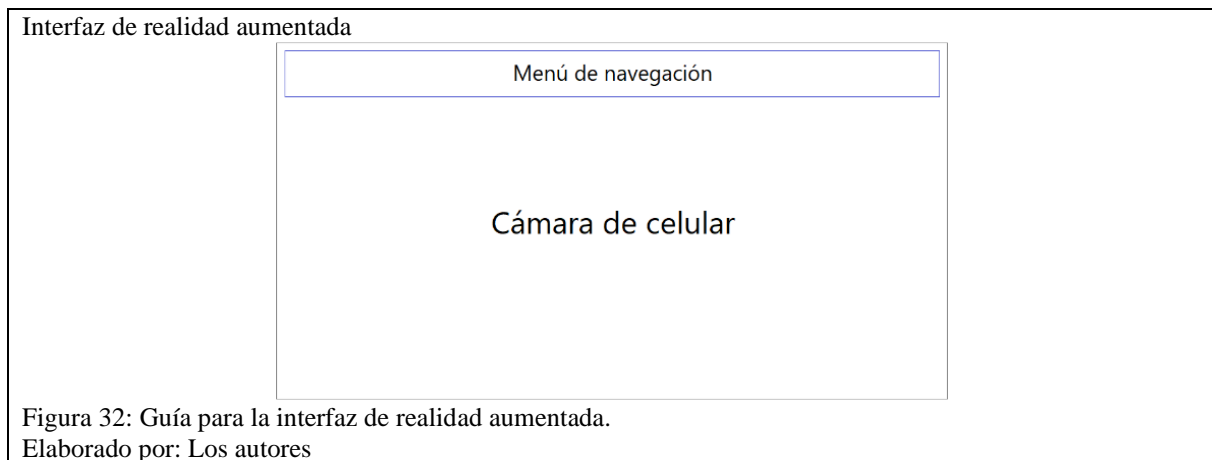


- Escenas de instrucciones: se dividió las interfaces de las escenas de instrucciones de cada usuario, en base a la siguiente figura 29, utilizando componentes visuales de tipo label, input y button.



- Escenarios de realidad aumentada: para la interfaz en las escenas de realidad aumentada, se basó en la siguiente figura 30. En este caso, la parte principal es la cámara del

dispositivo que se encarga de capturar el escenario para que la aplicación muestre los indicadores en esa escena. Se utilizó los componentes de tipo label.



Se utilizó el paquete de Unity SSTools que se encuentra en el siguiente repositorio de GitHub: <https://github.com/sseasycode/SSTools/blob/master/SSTools.unitypackage>, para los mensajes emergentes de información para los usuarios de pocos segundos en la aplicación.

3.5. Desarrollo de la aplicación web para la gestión de datos

Para la gestión de base de datos, se realizó una integración entre PHP y Unity C#. En PHP se implementó los métodos de conexión con la base de datos, para las consultas, ingreso, modificación y eliminación de información. Por otro lado, en C# se utilizó la librería de UnityEngine para llamar a los archivos PHP y capturar la información que retornan las peticiones de los archivos PHP a la base de datos.

3.5.1. Conexión a la base de datos

Se utilizó métodos genéricos para realizar la conexión a la base de datos, enviando los parámetros de petición desde Unity C# hasta los archivos PHP. Por ejemplo, para la obtención de los indicadores en un escenario, se envía el identificador de la foto en la que están superpuestos uno o varios componentes; como resultado de la consulta se retorna las coordenadas, escalas y nombre del indicador asignado:

Coordenadas desde la base de datos

```

$conexion = new mysqli($servidor, $usuario, $pass, $base);

$foto = $_GET['foto'];

if (!$conexion) {
    echo "400";
} else {
    $sql = "select * from fotos where NombreFoto = '$foto'";
    $resultado = mysqli_query($conexion, $sql);

    if (mysqli_num_rows($resultado) > 0) {
        while ($row = mysqli_fetch_assoc($resultado)) {
            echo $row['Objeto'] . "|" . $row['EjeX'] . "|" . $row['EjeY'] . "|" . $row['EjeZ'] . "|"
                . $row['RotX'] . "|" . $row['RotY'] . "|" . $row['RotZ'] . "|" . $row['ScalX'] . "|"
                . $row['ScalY'] . "|" . $row['ScalZ'] . "|" . $row['Titulo'] . "|"
                . $row['Descripcion'] . "|" . $row['Sobrenombre'] . "|" . $row['Url'] . "***";
        }
    } else {
        echo "401";
    }
}

```

Figura 33: Ejemplo para obtener coordenadas desde la base de datos a Unity.
Elaborado por: Los autores

3.5.2. Creación de métodos CRUD

Los métodos de selección, inserción, modificación y eliminación se trabajaron de igual manera en PHP, concatenando los resultados de las peticiones en una sola cadena de texto, en la que posteriormente se utilizará la función Split en Unity C#, para la manipulación de la información obtenida. En el caso de agregar un nuevo indicador de realidad aumentada a un escenario, se captura las coordenadas del componente desde C# y se envía esta información hasta PHP para que realice la función de inserción a la base de datos. De manera similar funcionan los métodos de eliminación, selección y modificación.

3.6. Integración de Unity con aplicación web

Para la conexión entre las clases de Unity y la aplicación web .php , se utilizó la sentencia que se muestra a continuación, la misma hace el llamado a una aplicación web y obtiene el resultado en una variable, para luego ser tratado.

```

Ejemplo de conexión
WWW conection = new WWW("http://localhost/ConnAr/RegistroPreguntas.php?foto=" + foto );
yield return conection;
var resultado = conection.text;

```

Figura 34: Ejemplo de conexión a la aplicación web desde el script de Unity.

Cuando un resultado tiene varias consultas, se muestra separado por un caracter especial como coma (,) o asterisco (*), para el manejo de su resultado; dentro de Unity se utiliza el comando Split() para separar la cadena resultado y obtener cada consulta.

3.7. Generación y Escaneo de código QR para registro de usuarios

Para la creación y escaneo de código QR dentro de Unity, se utilizó el plugin gratuito ZXing, el mismo contiene las clases que ayudan a detectar y generar un código, el siguiente método es el encargado de generar el código QR para el docente, en el que, se envía como parámetro una cadena aleatoria y única, que identificará al profesor, y será el resultado al escanear un código, esta función hace llamado al método Encode() propio de la librería, el cual genera una imagen con formato QR_CODE.

Generar código QR

```
public Texture2D generateQR(string text)
{
    var encoded = new Texture2D(256, 256);
    var color32 = Encode(text, encoded.width, encoded.height);
    encoded.SetPixels32(color32);
    encoded.Apply();
    return encoded;
}
```

Figura 35: Método para generar el código QR de los docentes.

Elaborado por: Los autores

Para la lectura de un código QR, se hace la llamada en la interfaz al componente WebCamTexture, para activar un fragmento de la cámara el cual captura su entorno en cada frame por segundo, y cuando encuentra un QR obtiene el resultado y lo guarda en una variable, se puede observar las sentencias que realizan esta función en el siguiente recuadro, en donde IBarcodeReader, es la clase de la librería Zxing que se encarga del reconocimiento y lectura de un código.

Lectura de código QR

```

IBarcodeReader barcodeReader = new BarcodeReader();

var result = barcodeReader.Decode(camTexture.GetPixels32(),
    camTexture.width, camTexture.height);

if (result != null)
{
    lectura = result.Text;
    cont++;
}

```

Figura 36: Método para la lectura de código QR.
Elaborado por: Los autores

3.8. Planificación pruebas de desarrollo

Antes de ejecutar las pruebas del producto, se diseñó el plan de pruebas, adjunto en el Anexo (Plan de pruebas), el cual es un documento que se lo planteó con el propósito de establecer: acciones, cronología, casos, escenarios y responsables de la ejecución; se decidió realizar pruebas de funcionalidad, usabilidad y rendimiento, cuyo fin es demostrar el correcto funcionamiento, la fiabilidad, aceptación del usuario y en sí, el cumplimiento de todos los requisitos de la aplicación. Para ello dentro de las pruebas funcionales se determinó los diferentes casos, de acuerdo con cada acción que realizan los módulos del aplicativo, en donde, se tomó un conjunto de variables a analizar, para que, a partir de eso, el analista, pueda determinar si el resultado es satisfactorio o no, los criterios de aprobación y rechazo se definen en base a la siguiente tabla.

Tabla 8. Resumen del plan de pruebas

Errores Graves	Información mal registrada o no registrada en la base de datos.	Estado: No aprobado
	Caídas de la aplicación.	
	Incumplimiento de los objetivos funcionales del proyecto.	
Errores Leves	Error en la presentación de datos secundarios.	Estado: Aprobado
	Errores de usabilidad.	

Nota: La tabla muestra un resumen del plan de pruebas que se realizaron y algunos estados.

Elaborado por: Los autores, a partir del plan de pruebas.

Para las pruebas de usabilidad se definieron diferentes cuestionarios sobre la navegación, ambiente gráfico y facilidad del manejo de la aplicación, en donde el analista debe calificar cada pregunta del 1 – 5, siendo 1 la calificación más baja, finalmente para las pruebas de rendimiento se decidió medir el tiempo de respuesta de las principales funcionalidades de realidad aumentada; también es importante definir en la planificación, el entorno en el que se realizaran las pruebas, en este caso se fijó realizarlas, de forma local y desde el emulador propio de Unity, además se determinó usar diferentes objetos en los cuales situar indicaciones mediante realidad aumentada, para verificar el correcto reconocimiento de imágenes en contenidos variados de textura, color y forma.

3.9. Casos de pruebas

Durante el transcurso de las pruebas funcionales, rendimiento y usabilidad, se fueron resolviendo las preguntas del plan de pruebas, verificando el estado en que se encuentra la aplicación, el resultado esperado y registrando el resultado obtenido, que serán presentados más adelante.

3.9.1. Pruebas funcionales

En base a los requerimientos funcionales y al plan de pruebas, se realizaron las pruebas funcionales y validaciones respectivas. Para ello se trabajó bajo el siguiente escenario:

Como usuario con perfil de administrador, se capturo una superficie de un objeto como base y dentro de esta, se superpuso los indicadores de descripción y de etiqueta de realidad aumentada, así como su respectivo contenido de visualización. Además, con este mismo rol se creó un usuario con perfil de docente.

Como usuario con perfil de docente, se verificó la creación e ingreso del nuevo docente por parte del usuario administrador. Seguido de esto, se capturó un objeto base para superponer los indicadores de preguntas de evaluación que los estudiantes resolverán.

Como usuario con perfil de estudiante, se creó un nuevo registro en la aplicación seleccionando el código del docente al que pertenecerá. Después, de realizar el respectivo inicio de sesión, se seleccionó el escenario donde el administrador agregó los indicadores. Dentro del escenario enfocado se eligió un indicador de descripción para ver el contenido asignado a este. Regresando al menú de inicio se seleccionó el escenario que el docente realizó las preguntas, y se seleccionó el indicador de evaluación para resolver como si fuera un ejemplo práctico.

3.9.2. Pruebas de rendimiento

Para las pruebas de rendimiento, se midió el tiempo en que se demora mostrar el objeto sobrepuesto de realidad aumentada en una superficie base. Para ello se trabajó bajo el siguiente escenario:

Se realizó estimación de tiempos colocando uno, dos, tres, cinco y diez distintos tipos de indicadores de realidad aumentada y se capturó el tiempo que tomaba mostrar el indicador a la superficie seleccionada. Se realizó en mismos ejercicios prácticos para cada caso con el número de indicadores seleccionados.

3.9.3. Pruebas de usabilidad

Con respecto a las pruebas de usabilidad, el equipo de desarrollo se reunió con los Product Owner y además se realizó las pruebas a una muestra de 44 estudiantes de la Universidad Politecnica Salesiana. El cálculo del tamaño de la muestra se obtuvo a partir de una población de 600 estudiantes, siguiendo la fórmula:

$$n = \frac{N \cdot Z_a^2 \cdot p \cdot q}{d^2 \cdot (N - 1) + Z_a^2 \cdot p \cdot q}$$

Donde N es el tamaño de la población, en este caso 600 estudiantes, Z igual al nivel de confianza, el cual se ha establecido en 90%, P es la probabilidad de éxito, Q la probabilidad de fracaso y D el margen de error el mismo que se fijó en 12.

Las pruebas se realizaron bajo un cuestionario establecido, adjuntado en el anexo (Plan de pruebas de usabilidad), bajo el siguiente escenario:

Para los ProductOwner se realizó un ejercicio práctico de toda la funcionalidad de la aplicación, como la creación de los docentes y estudiantes, la asignación de indicadores de realidad aumentada, etc. Se verificó la navegación dentro de las escenas, el menú de instrucciones y máquinas, los componentes visuales que pertenecen a los distintos perfiles de usuarios (administrador, docente y estudiante), además, se verificó el nivel de intuición que la aplicación presenta para los usuarios que interactúan por primera vez con esta, mientras que para la muestra de estudiantes se realizó un video de la funcionalidad de la aplicación, el mismo que se socializo y a partir del cual cada estudiante contesto el cuestionario, establecido en el plan de pruebas.

3.10. Resultados

La siguiente tabla muestra el porcentaje que se obtuvo al realizar las pruebas funcionales de la aplicación. De los ocho casos de pruebas funcionales, divididos en 5 módulos generales, se consiguió el resultado de aprobado en todos los casos de prueba, dando así el 100% de aprobación a cada módulo.

Tabla 9.
Resultados pruebas funcionales

Pruebas funcionales	Número de repeticiones	Estado	Porcentaje de aprobación (%)
Caso 1: Verificar el correcto registro del usuario docente por parte del administrador de contenido	2	Aprobado	100
Caso 2: Verificar el correcto registro del usuario estudiante	2	Aprobado	100
Caso 3: Inicio de sesión de un usuario	10	Aprobado	100
Caso 4: Verificación del correcto funcionamiento para la creación de contenido de instrucciones a través de una foto	5	Aprobado	100

Caso 5: Verificación del correcto funcionamiento para la creación de contenido de evaluaciones a través de una foto	5	Aprobado	100
Caso 6: Verificación del correcto funcionamiento para la visualización de contenido de realidad aumentada	5	Aprobado	100
Caso 7: Visualizar las evaluaciones completadas y su estado (correctas, incorrectas) tanto el docente como el estudiante	4	Aprobado	100
Caso 8: Verificar el correcto funcionamiento de la generación del código QR del docente para la inscripción del estudiante	2	Aprobado	100

Nota: La tabla muestra los resultados de las pruebas funcionales y el porcentaje de aprobación en cada caso. Elaborado por: Los autores, a partir de la ejecución de las pruebas funcionales.

Los resultados obtenidos en las pruebas de rendimiento se muestran en la siguiente figura, después de obtener los tiempos con los diferentes conjuntos de indicadores de realidad aumentada, se obtuvo un resultado de respuesta rápida, considerando que el tiempo medio que toman estos para mostrarse en la escena es menor a un segundo.

Tabla 10.
Resultados de las pruebas de rendimiento

N° Indicadores	N° Pruebas	Tiempo promedio (s)
1	10	0.1964
2	10	0.1662
3	10	0.1739
5	10	0.4373
10	10	0.1669

Nota: La tabla muestra los resultados de las pruebas de rendimiento y el promedio obtenido en cada caso. Elaborado por: Los autores, a partir de pruebas ubicando varios indicadores en un solo entorno.

La siguiente tabla muestra el promedio de aceptación que se tuvo al realizar las pruebas de usabilidad. La métrica de medición fue de 1 como menor calificación y 5 como mayor. Al final, como resultado de las pruebas realizadas en una muestra de 44 estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana y 2 ProductOwner, se obtuvieron los siguientes resultados, es importante mencionar que, en la tabla la respuesta “No está presente para los usuarios estudiantes”, hace referencia a que la sección evaluada se encuentra únicamente en el módulo visible para los usuarios docentes y administradores.

Tabla 11.
Resultados de pruebas de usabilidad

Pruebas de usabilidad	Promedio de aceptación Estudiantes	Promedio de aceptación ProductOwners
La navegación interna, menús y botones	4.75	4
Títulos y mensajes.	4.77	5
Teclas de acción volver atrás y avanzar.	4.61	5
Elementos gráficos proporcionales.	4.45	4
Zonas clickeables y no clickeables.	4.48	5
Iconos e imágenes.	4.61	4
Apariencia general de la aplicación.	4.59	4
Indicadores gráficos presentes en el módulo de realidad aumentada.	4.68	5
Interfaz de usuario.	4.75	4
Nueva referencia y contenido de realidad aumentada.	No está presente para los usuarios estudiantes	5
Indicaciones de uso de las maquinas.	4.66	5
Nueva evaluación para el estudiante.	No está presente para los usuarios estudiantes	5
Registro de un docente o estudiante dentro de la aplicación.	4.8	5
Tiempo de respuesta.	4.7	5

Nota: La tabla muestra los resultados de las pruebas de usabilidad y los promedios para cada caso.
Elaborado por: Los autores, a partir de preguntas realizadas a los ProductOwner y varios estudiantes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se cumplió con los objetivos del proyecto, dando como resultado el diseño de una aplicación móvil que permite la autenticación de usuarios bajo los roles administrador, docente, estudiante; los cuales pueden establecer y visualizar contenido de realidad aumentada respectivamente, el mismo que muestra las instrucciones para el manejo de las máquinas de torneado y fresado del laboratorio CNC.
- Se desarrolló un módulo de evaluación el cual permite a un docente crear preguntas para los estudiantes, con el fin de conocer el progreso de aprendizaje de los mismos, es importante mencionar que el aplicativo es configurable y adaptable a las necesidades del usuario, ya que se puede crear un gran número de instrucciones con realidad aumentada, acorde al método de enseñanza aplicado, lo cual puede ayudar a sostener un aprendizaje progresivo en los estudiantes.
- Para el posicionamiento de contenido de realidad aumentada frente a un objeto del entorno real, se ha realizado varios cálculos matemáticos, con el fin de que sus coordenadas sean lo más exactas posibles al momento de visualizarse, sin embargo, se ha llegado a la conclusión de que a pesar de los avances actuales en el campo de realidad aumentada aún existe un desfase al momento de situar contenido virtual en el entorno real, ya que la conversión de coordenadas de un entorno a otro difiere, además del gran número de factores que se deben tomar en cuenta al momento de realizar dichos cálculos, como, las dimensiones del dispositivo en el que se visualiza, la luz del entorno e incluso el movimiento que se realiza al interactuar con la aplicación.
- Durante el desarrollo del proyecto también se pudo observar cómo evoluciona rápidamente la tecnología de realidad aumentada, pues al término del proyecto el kit de desarrollo de software de realidad aumentada usado ya había lanzado a producción 2

nuevas versiones, con características más avanzadas, esto se debe a los múltiples usos que se le está dando en la actualidad a esta tecnología.

Recomendaciones

- Para el posicionamiento de contenido virtual, sobre un objeto del entorno real se debe tener conocimiento sobre cómo funciona el sistema de coordenadas de Unity (X, Y, Z); la equivalencia de una coordenada en Unity con referencia a las reales y el posicionamiento de la cámara con respecto a un objeto.
- Antes de iniciar el desarrollo de un proyecto en Unity, se debe revisar la configuración del punto decimal predeterminado con el que está trabajando el IDE, el mismo que depende del idioma bajo el cual se ha instalado. Es importante establecer dicha configuración de acuerdo con el dispositivo en el cual se desplegará la aplicación, ya que esto define la forma en se leerán los números decimales (con coma o punto) y si la configuración del dispositivo final es diferente a la de Unity, va a existir datos erróneos.
- Es importante realizar un estudio previo para la elección del SDK de realidad aumentada, ya que cada uno cuenta con diversas funcionalidades y características que influyen en el desarrollo de la aplicación, por lo tanto, se debe escoger el que se adapte a los requerimientos y cuente con las funcionalidades necesarias para cumplir con los objetivos del proyecto.
- Para trabajos futuros esto se puede implementar no solo para una máquina específica, sino en general para cualquier equipo u objeto, con recursos no solo visuales, sino también auditivos.

GLOSARIO

E-learning: es una nueva tecnología, que permite la interacción digital de estudiantes y docentes en línea.

Torneado: es un proceso mecánico que moldea piezas cilíndricas.

Fresado: es un proceso mecánico, para cortar materiales utilizando herramientas rotativas en tres ejes.

Scrum: es una metodología ágil para el desarrollo de un proyecto de software.

Sprint: es un periodo de trabajo que tiene un objetivo de trabajo y un entregable.

UPC: es un código simbólico que almacena información y se expresa mediante barras.

QR: es un código de barras en dos dimensiones que almacena información codificada.

Unity: es una plataforma especializada para el desarrollo de videojuegos e interacción con los usuarios

C#: es un lenguaje de programación orientado a objetos

Product Owner: es un actor importante de Scrum, que aporta información de requerimientos al proyecto.

Máquinas CNC: Son equipos industriales que hacen uso de una computadora para controlar y monitorear los movimientos de la máquina, entre esas máquinas podemos mencionar: fresadora, torno, rectificadora, máquina de corte por láser, entre otras.

Metodología: conjunto de pasos bien definidos que se sigue para alcanzar un fin.

Scrum-board: herramienta perteneciente a la metodología scrum para la organización de tareas y actividades.

Línea de aprendizaje: grafico que describe el grado de éxito obtenido, durante algún aprendizaje.

LISTA DE REFERENCIAS

Artículos científicos

Cabero, A. J., & Barroso, O. J. (2018). *Los escenarios tecnológicos en Realidad Aumentada (RA)*. España: Universidad de Sevilla. Obtenido de <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/79138>

Prendes, C. (2015). Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas. Obtenido de <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/45413/realidad+aumentada+y+educacion.pdf?sequence%3D1&isAllowed=y>

Artículos web

Bockholt, N. (2017). *Realidad virtual, realidad aumentada, realidad mixta. ¿qué significa "inmersión" realmente*. Obtenido de <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/es-es/canales-de-publicidad/tecnologiaemergente/realidad-virtual-aumentada-mixta-que-significa-inmersion-realmente>.

Guzmán, F., & Bustos, M. (2016). *Profesores: 33% tiene problemas con estrategias de enseñanza*. LATERCERA. Obtenido de <https://www.latercera.com/noticia/profesores-33-problemas-estrategias-ensenanza/>

Bibliografía

Cabero, A. J., & Román, G. P. (2006). *La formación en internet*. Editorial MAD. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=10840>

Cacheiro Gonzáles, M. (2018). *Educación y tecnología: Estrategias didácticas para la integración de las TIC*. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=KG5aDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=educaci%C3%B3n+y+tecnolog%C3%ADa&ots=OuYQCw8sND&sig=JMX>

RTT47CJmKbn8GEMDoLd5l_14&redir_esc=y#v=onepage&q=educaci%C3%B3n%
20y%20tecnolog%C3%ADa&f=false

Cerón, A., & Bedoya, P. (2014). *MANUAL BASICO DE UNITY 3D COMO APOYO AL
DESARROLLO*. Pereira. Obtenido de
<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/52222953/006686C416.pdf>

De Pedro, J. (2011). *Realidad Aumentada: un nuevo paradigma en la educación superior*. En
M. G. E. Campo. Chile: Educación y sociedad.

Krar, S. F., Check, A. F., & Smid, P. (2002). *Tecnología de las máquinas-herramienta*.
Alfaomega.

Ray, A. C. (2000). *Seguridad Industrial y Salud*. Univesidad Nacional Autómata de México.
Obtenido de
https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=QxVrduIPs64C&oi=fnd&pg=PR15&dq=seguridad+industrial+ecuador&ots=kdY868rwwA&sig=0-FuB1O57Hb4GN1anyz1vlqSEDw&redir_esc=y#v=onepage&q=seguridad%20industrial%20ecuador&f=false

Reinoso, R. (2012). *Posibilidades de la realidad aumentada en educación*. En *M. P. J. Hernández*. *Tendencias emergentes en educación con TIC*. Barcelona: Editorial espiral.

Sitios web

GTG. (2018). *Estadísticas de Accidentes Laborales Enero – Junio 2018*. Obtenido de *GTG - Ingenieros, Seguridad Industrial*. Obtenido de <https://gtg.es/2018/09/03/estadisticas-de-accidentes-laborales-enero-junio-2018/>

Máquinas y Herramientas. (2016). *Torno CNC*. Obtenido de *De Máquinas y Herramientas*. Obtenido de <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/torno-cnc>

Tesis

Aconda, A., & Rubén, C. (2019). *Diseño de una herramienta de aprendizaje con realidad aumentada aplicada a la capacitación técnica*. (Tesis de Pregrado) Universidad politécnica Salesiana. Quito-Ecuador. Obtenido de:
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17215>

Balseca, C., & Garcés, F. (2016). *Desarrollo de una aplicación móvil para la guía interactiva en el Campus Sur de la UPS y la presentación de noticias de la Carrera de Ingeniería de Sistemas usando realidad aumentada, codificación QR y conexión web service*. (Tesis de Pregrado) Universidad Politecnica Salesiana. Quito-Ecuador. Obtenido de
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13360>

Gallego, T. M. (s.f.). *Metodología SCRUM*. (Tesis de Pregrado) Universidad Oberta de Catalunya. España. Obtenido de
<http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/17885/1/mtrigasTFC0612memoria.pdf>

Sevilla, A. B. (2017). *Realidad Aumenta en Educación*. (Tesis de Pregrado) Universidad Politécnica de Madrid. España. Obtenido de
http://oa.upm.es/45985/1/Realidad_Aumentada__Educacion.pdf

ANEXOS

Análisis Metodológico

Objetivo Especifico				
Investigar el funcionamiento de los equipos de fresado y torneado en el laboratorio de máquinas CNC y las tecnologías necesarias para la implementación de la solución.				
Tipo	Metodología	Técnica	Instrumento	Fuente
Investigación				
Investigación Tecnológica	Cualitativa	Análisis documental	Fichas de paráfrasis.	Documentos bibliográficos
			Fichas de resumen.	
		Entrevista Estructurada	Cuestionarios abiertos	Product Owner
		Observación experimental	Fichas de resumen	Laboratorio de Mecánica
Objetivo Especifico				
Implementar un mecanismo de autenticación en la aplicación móvil tanto para docentes y estudiantes que valide la seguridad del software y el uso respectivo de cada tipo de usuario				
Investigación Tecnológica	Scrum	Análisis de requerimientos	Historias de usuario	Product Owner
			Product Backlog	
			Sprint Backlog	

		Prototipado y Diseño	Scrum board	Historias de usuario y Product Backlog
	Cualitativa	Entrevista Estructurada	Cuestionarios abiertos	Product Owner
Objetivo Especifico				
Desarrollar una guía de instrucciones del funcionamiento de los equipos de fresado y torneado para el aprendizaje de los estudiantes de forma clara y didáctica.				
Investigación Tecnológica	Scrum	Análisis de requerimient os	Historias de usuario	Product Owner
			Product Backlog	
	Prototipado y Diseño	Sprint Backlog	Historias de usuario y Product Backlog	
		Scrum board		
Cualitativa	Entrevista Estructurada	Cuestionarios Abiertos	Product Owner	
Objetivo Especifico				
Implementar la funcionalidad de evaluación dentro del aplicativo móvil, para evidenciar el proceso de aprendizaje en los estudiantes.				
		Análisis de requerimient os	Historias de usuario	Product Owner
			Product Backlog	

Investigación Tecnológica	Scrum	Prototipado y Diseño	Sprint Backlog	Historias de usuario y Product Backlog
			Scrum board	
	Cualitativa	Entrevista estructurada	Cuestionarios abiertos	Ingeniero de Mecánica (Product Owner)

Cuestionario funcionamiento de las máquinas del laboratorio CNC

<p>Universidad Politécnica Salesiana Cuestionario Abierto</p> <p>Objetivo: El presente cuestionario tiene como objetivo conocer el funcionamiento de las máquinas de torneado y fresado del laboratorio CNC para a partir de ello implementar el Sprint Backlog de la aplicación referente al proyecto de titulación.</p> <p>Tema: Funcionamiento de las máquinas del laboratorio CNC</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Para qué sirven las máquinas de torneado y fresado? 2. ¿Cuál es el proceso que se lleva a cabo para encender las máquinas? 3. ¿Cómo se maneja cada máquina normalmente? 4. ¿Quiénes son los usuarios de las máquinas? 5. ¿Cuáles son las instrucciones principales que deben conocer los estudiantes? 6. ¿Cómo se les enseña a los estudiantes a manejar las máquinas? 7. ¿Cuentan con un manual de usuario?
--

Pruebas Funcionales

Pruebas de gestión de usuarios

Caso de prueba No	1
Descripción	Verificar el correcto registro del usuario docente por parte del administrador de contenido.
Módulo	Registro Docente

Prioridad	10		
Fecha de preparación	19/06/2020	Fecha de ejecución	02/07/2020
Realizado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo	Ejecutado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo
Actividades			
No	Descripción	Resultado esperado	Resultado Obtenido
1	Ingresar datos del docente en el formulario	Cajas de texto con datos seteados	Cajas de texto con datos completos
2	Clic en el botón registrar	Mensaje “Usuario Registrado”	Mensaje “Usuario Registrado”
Resultado prueba	Aprobado		
Aprobado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo		

Caso de prueba No	2		
Descripción	Verificar el correcto registro del usuario estudiante		
Módulo	Registro Estudiante		
Prioridad	10		
Fecha de preparación	19/06/2020	Fecha de ejecución	02/07/2020
Realizado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo	Ejecutado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo
Actividades			
No	Descripción	Resultado esperado	Resultado Obtenido
1	Ingresar datos del estudiante en el formulario	Cajas de texto con datos ingresados	Cajas de texto con datos completos
2	Escanear código QR del profesor	Caja de texto “código profesor”, llena con el número obtenido	Caja de texto “código profesor”, llena con el número obtenido
3	Clic en el botón Registrar	Regreso a la página autenticación y Mensaje “Usuario Registrado”	Regreso a la página autenticación y Mensaje “Usuario Registrado”
Resultado prueba	Aprobado		
Aprobado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo		

Caso de prueba No	3		
Descripción	Inicio de sesión de un usuario		
Módulo	Login		
Prioridad	10		
Fecha de preparación	19/06/2020	Fecha de ejecución	02/07/2020
Realizado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo	Ejecutado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo
Actividades			
No	Descripción	Resultado esperado	Resultado Obtenido
1	Ingresar correo y contraseña del usuario administrador	Menú administrador para crear contenido de realidad aumentada	Menú administrador para crear contenido de realidad aumentada
2	Ingresar correo y contraseña del usuario docente	Menú docente para crear evaluaciones con realidad aumentada	Menú docente para crear evaluaciones con realidad aumentada
3	Ingresar correo y contraseña del usuario estudiante	Menú estudiante solo para visualizar el contenido	Menú estudiante solo para visualizar el contenido
4	Ingresar un correo inexistente o equivocado	Mensaje “Usuario y contraseña incorrecto”	“Usuario y contraseña incorrecto
5	Ingresar una contraseña equivocada	Mensaje “Usuario y contraseña incorrecto	“Usuario y contraseña incorrecto
Resultado prueba	Aprobado		
Aprobado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo		

Pruebas crear contenido con realidad aumentada

Caso de prueba No	4		
Descripción	Verificación del correcto funcionamiento para la creación de contenido de instrucciones a través de una foto		
Módulo	Creación y Administración de contenido de realidad aumentada		
Prioridad	10		
Fecha de preparación	19/06/2020	Fecha de ejecución	02/07/2020
Realizado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo	Ejecutado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo

Actividades			
No	Descripción	Resultado esperado	Resultado Obtenido
1	Ingresar al módulo en que se quiere guardar la instrucción (se debe haber iniciado sesión como administrador).	Menú Máquinas (máquina de torneado o fresado)	Menú Máquinas
2	Escoger maquina en la que se va a agregar el contenido	Ventana para tomar la foto	Ventana para tomar la foto
3	Tomar foto	Visualización de la pantalla donde se puede anexar un indicador a la foto tomada (Aparecerá dos indicadores una flecha y un marker).	Visualización de la pantalla donde se puede anexar un indicador a la foto tomada
4	Arrastrar un indicador para descripción (flecha) a un punto específico de la foto	El indicador se encuentre ubicado en el punto deseado referente a la foto y haber podido llenar en un popup con la descripción.	El indicador se encuentre ubicado en el punto deseado referente a la foto y se llenó un popup con la descripción.
5	Arrastrar un indicador para título (Marker) a un punto específico de la foto	El indicador se encuentre ubicado en el punto deseado referente a la foto y haber podido llenar en un pop up con el título.	El indicador se encuentre ubicado en el punto deseado referente a la foto y se llenó un pop up con el título.
6	Arrastrar a cualquier indicador previamente puesto al icono de eliminar	Mensaje de confirmación para eliminar, en caso de aceptar el indicador es eliminado.	Mensaje de confirmación e indicador eliminado, tras poner aceptar.
Resultado prueba	Aprobado		
Aprobado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo		

Caso de prueba No	5
Descripción	Verificación del correcto funcionamiento para la creación de contenido de evaluaciones a través de una foto
Módulo	Creación y Administración de contenido de realidad aumentada
Prioridad	10

Fecha de preparación	19/06/2020	Fecha de ejecución	02/07/2020
Realizado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo	Ejecutado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo
Actividades			
No	Descripción	Resultado esperado	Resultado Obtenido
1	Ingresar al módulo evaluaciones (se debe haber iniciado sesión como docente).	Menú Máquinas (máquina de torneado o fresado)	Menú Máquinas
2	Escoger maquina en la que se va a agregar la evaluación	Ventana para tomar la foto	Ventana para tomar la foto
3	Tomar foto	Visualización de la pantalla donde se puede anexar un indicador a la foto tomada (solo aparecerá el indicador de evaluación).	Visualización de la pantalla donde se puede anexar un indicador a la foto tomada, aparece solo el icono evaluar.
4	Arrastrar el indicador a un punto específico de la foto	El indicador se encuentre ubicado en el punto deseado referente a la foto y haber podido llenar en un pop up la pregunta a evaluar con sus respectivas respuestas.	El indicador se encuentre ubicado en el punto deseado y se ha llenado la pregunta.
5	Arrastrar a cualquier indicador previamente puesto al icono de eliminar	Mensaje de confirmación, si se pone a aceptar el indicador es eliminado y ya no se muestra en la pantalla.	Mensaje de confirmación, e indicador eliminado
Resultado prueba	Aprobado		
Aprobado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo		

Pruebas visualizar contenido con realidad aumentada

Caso de prueba No	6
--------------------------	---

Descripción	Verificación del correcto funcionamiento para la visualización de contenido de realidad aumentada		
Módulo	Visualización de contenido con realidad aumentada		
Prioridad	10		
Fecha de preparación	19/06/2020	Fecha de ejecución	02/07/2020
Realizado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo	Ejecutado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo
Actividades			
No	Descripción	Resultado esperado	Resultado Obtenido
1	Ingresar al módulo en el que se quiere ver la instrucción (se debe haber iniciado sesión como estudiante).	Menú Máquinas (máquina de torneado o fresado)	Menú Máquinas
2	Escoger máquina.	Ventana para visualizar instrucciones a través de la cámara.	Ventana para visualizar instrucciones a través de la cámara.
3	Enfocar la cámara para visualizar los indicadores (Flechas o markers)	Se debe visualizar los indicadores (Flechas o markers) en los puntos antes ubicados por el administrador.	Se visualiza los indicadores preestablecidos.
4	Aplastar sobre un indicador flecha para visualizar la descripción.	Se debe abrir un pop up con la descripción referente a una instrucción.	Pop con la descripción.
5	Ingresar al módulo evaluación (se debe haber iniciado sesión como estudiante).	Menú Máquinas (máquina de torneado o fresado)	Menú Máquinas
6	Escoger máquina.	Ventana para visualizar evaluaciones a través de la cámara.	Ventana para visualizar evaluaciones a través de la cámara.
7	Enfocar la cámara para visualizar indicadores de evaluación.	Se debe visualizar el indicador de evaluación en los puntos antes ubicados por el docente.	visualización de los indicadores de evaluación en los puntos antes ubicados por el docente.
8	Aplastar sobre un indicador de evaluación para	Pop up con la pregunta y un text box para	Pop up con la pregunta y un text box para

	visualizar la pregunta adjuntada por el docente.	seleccionar la respuesta.	seleccionar la respuesta.
9	Aplastar sobre un indicador de evaluación previamente ya resuelto	Mensaje “Pregunta resulta”	Mensaje “Pregunta resulta”
Resultado prueba	Aprobado		
Aprobado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo		

Pruebas visualización evaluaciones completadas

Caso de prueba No	7		
Descripción	Visualizar las evaluaciones completadas y su estado (correctas, incorrectas) tanto el docente como el estudiante		
Módulo	Resultados de evaluaciones		
Prioridad	7		
Fecha de preparación	19/06/2020	Fecha de ejecución	02/07/2020
Realizado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo	Ejecutado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo
Actividades			
No	Descripción	Resultado esperado	Resultado Obtenido
1	Ingresar al módulo calificaciones (se debe haber iniciado sesión como docente).	Pantalla con el listado de estudiantes del curso y cuantas respuestas correctas e incorrectas tiene cada uno.	Pantalla con el listado de estudiantes del curso y cuantas respuestas correctas e incorrectas tiene cada uno.
2	Ingresar al módulo evaluaciones (se debe haber iniciado sesión como estudiante).	Pantalla para visualizar contenido.	Pantalla para visualizar contenido.
3	En el módulo evaluaciones, clic botón superior notas.	Visualización de un pop up con el número de respuestas correctas e incorrectas del estudiante.	Visualización de un pop up con el número de respuestas correctas e incorrectas del estudiante.
Resultado prueba	Aprobado		

Aprobado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo
---------------------	------------------------------------

Pruebas generación código QR del docente

Caso de prueba No	8		
Descripción	Verificar el correcto funcionamiento de la generación del código QR del docente para la inscripción del estudiante.		
Módulo	Generación código QR docentes		
Prioridad	10		
Fecha de preparación	19/06/2020	Fecha de ejecución	02/07/2020
Realizado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo	Ejecutado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo
Actividades			
No	Descripción	Resultado esperado	Resultado Obtenido
1	Iniciar sesión como docente.	menú Docente para crear evaluaciones.	menú Docente para crear evaluaciones.
2	Clic en el botón generar QR	Pantalla con la imagen del código QR generado	Pantalla con la imagen del código QR generado
3	Clic en el botón guardar imagen.	Imagen del código QR guardada en la galería del celular.	Imagen del código QR guardada en la galería del celular.
Resultado prueba	Aprobado		
Aprobado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo		

Pruebas de usabilidad

Pruebas de Navegación

Caso de prueba No	1		
Descripción	Verificar la usabilidad de la navegación en la aplicación		
Módulo	Navegación		
Prioridad	9		
Fecha de preparación	19/06/2020	Fecha de ejecución	14/07/2020

Realizado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo	Ejecutado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo		
Puntos de evaluación					
Ítems	1	2	3	4	5
La navegación interna como los menús y botones, le permite explorar y manejar adecuadamente la aplicación.				x	
Los elementos dentro de la aplicación como títulos y mensajes, le permite saber exactamente dónde se encuentra y que acción va a realizar.					x
Encuentra fácilmente la manera de volver atrás y avanzar dentro de la aplicación.					x
Resultado prueba					
Aprobado por	Product Owner				

Pruebas de Ambiente Gráfico

Caso de prueba No	2				
Descripción	Verificación de la usabilidad gráfica de la aplicación				
Módulo	Gráfico				
Prioridad	9				
Fecha de preparación	19/06/2020	Fecha de ejecución	02/07/2020		
Realizado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo	Ejecutado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo		
Puntos de evaluación					
Ítems	1	2	3	4	5
La relación entre los distintos elementos gráficos de la aplicación es proporcional.				x	
Se distinguen las zonas clickeables de las no clickeables.					x
Los íconos e imágenes presentes en la aplicación son reconocibles, auto explicativos y van de acuerdo con el contexto.				x	
La apariencia general de la aplicación es agradable.				x	
Los indicadores gráficos presentes en el módulo de realidad aumentada van de acuerdo con el contexto y uso de la aplicación.					x
La interfaz de usuario tiene una estructura clara y organizada.				x	
Resultado prueba					
Aprobado por	Product Owner				

Pruebas Manejo de la funcionalidad

Caso de prueba No	3				
Descripción	Verificación del manejo de la funcionalidad				
Módulo	Manejo de la funcionalidad				
Prioridad	10				
Fecha de preparación	19/06/2020	Fecha de ejecución	02/07/2020		
Realizado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo	Ejecutado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo		
Puntos de evaluación					
Ítems	1	2	3	4	5
Es fácil de implementar una nueva referencia y contenido de realidad aumentada.					x
Es fácil obtener las indicaciones de uso de las maquinas por medio de la aplicación.					x
Es sencillo subir una nueva evaluación para el estudiante.					x
Es rápido y cómodo el registro de un docente o estudiante dentro de la aplicación.					x
El tiempo de respuesta es el adecuado en las diferentes acciones que realiza la aplicación.					x
Resultado prueba					
Aprobado por	Product Owner				

Pruebas de rendimiento

Caso de prueba No	1			
Descripción	Tiempo de respuesta en la carga de contenido de realidad aumentada localmente			
Módulo	Visualización de contenido de realidad aumentada			
Prioridad	10			
Fecha de preparación	19/06/2020	Fecha de ejecución	02/07/2020	
Realizado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo	Ejecutado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo	
Tiempo de respuesta en la carga de los indicadores de realidad aumenta				
Ítems	Tiempo Promedio	t < 1s	1s >= t <= 3s	t > 3s
1 indicador	196,4 ms - 0.1964 s	x		
2 indicadores	166,2 ms - 0.1662 s	x		
3 indicadores	173,9 ms - 0.1739 s	x		
5 indicadores	437,3 ms - 0.4373 s	x		

10 indicadores	166.9 ms - 0.1669 s	x		
Resultado prueba	Tiempo de respuesta rápido			
Aprobado por	Richard Macas Nathaly Jaramillo			