UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUELCARRERA

Aplicación de realidad aumentada para lectura de planos para la fabricación.

Trabajo de titulación para optar al título de
INGENIERO EN FABRICACIÓN Y DISEÑO INDUSTRIAL

Alumno: Nicolás Ignacio Carvajal López

Profesor guía: Mario González Carvallo

2026

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Aplicación de realidad aumentada para lectura de planos para la fabricación.

Nombre del candidato(a): Nicolas Ignacio carvajal López

Carrera / Grado: INGENIERÍA EN FABRICACIÓN Y DISEÑO INDUSTRIAL

Campus: Sede Viña del Mar **Departamento:** Departamento de Diseño y Manufactura DIMA

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, MARIO GONSALEZ CARVALLO, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por **(marcar una opción)**:

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
INGENIERIA EN FABRICACION Y DISEÑO INDUSTRIAL

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 20/10/20 **Firma:**

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 28/10/20 **Firma:**

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Resumen

K**EYWORDS:** Realidad Aumentada, Gemelo Digital, Modelo digital tridimensional, Aplicación Movil, Modelo 3d, Planos de fabricación.

El presente trabajo de título propone el diseño y la fundamentación técnica de una aplicación móvil de realidad aumentada (RA) orientada a apoyar la transferencia de información técnica en la interpretación de planos de fabricación. Mediante el uso de la cámara del dispositivo móvil, el sistema detecta un plano bidimensional impreso bajo normativa chilena (NCH), utilizándolo como un marcador óptico natural. Sobre este se proyecta el modelo tridimensional paramétrico componente.

1-Se presenta el contexto de la Industria 4.0 y su relación con el modelo digital y las tecnologías de realidad extendida. La comparación entre realidad virtual, realidad mixta y realidad aumentada justifica el uso de la última pues permite al operario mantener contacto con el entorno real del taller mientras consulta información digital.

2-Se presenta la sustentación del desarrollo de la aplicación móvil de realidad aumentada destinada a facilitar la interpretación de planos de fabricación en entornos metalmecánicos. La propuesta se organiza mediante una arquitectura lógica de tres capas: entrada, procesamiento y salida. Esta estructura permite relacionar el plano físico utilizado en el taller con correspondiente modelo tridimensional.

3-La evaluación exploratoria considera 11 participantes Que visualizaron y utilizaron la aplicación. La encuesta muestra una valoración favorable de la compresión geométrica la estabilidad y la rapidez de respuesta, Los resultados describen la percepción de los usuarios y no permiten demostrar reducciones errores o tiempo de fabricación

ÍNDICE

Resumen 3

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES 6

ÍNDICE DE TABLAS 7

ÍNDICE DE SIGLAS Y SIMBOLIGÍAS 8

Introducción 1

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DEL PROYECTO. 2

1.1. Antecedentes generales 4

1.2. Contexto de la Industria 4.0 4

1.3. Justificación de investigación 5

1.4. Objetivos 5

1.4.1. Objetivo general 5

1.4.2. Objetivos Específicos: 5

1.5. Variables ambientales del taller y su impacto en las aplicaciones de RA. 6

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO 8

2.1. Digital modelo digital tridimensional y gemelo digital 10

2.2. Fundamentos de la Realidad Aumentada (RA) 10

2.2.1. Realidad virtual (RV) 10

2.2.2. Realidad Mixta: 12

2.2.3. Realidad aumentada (RA) 12

2.3. Imágenes Objetivo y herramientas de desarrollo. 14

CAPÍTULO III: DESAROLO DE LA APLICACION 16

3.1. Arquitectura lógica de tres capas 17

3.2. Capa de entrada (entorno físico): 17

3.2.1. Plano de fabricación como imagen objetivo *"target"*. 18

3.3. Segunda capa: Capa de procesamiento 19

3.3.1. Procesamiento de visión artificial y tracking (Vuforia Engine). 19
3.3.2. Renderizado y jerarquía en (Unity Hub 3D). 20
3.4. Capa de salida (interfaz de usuario) 21
3.5. Desarrollo técnico de la aplicación. 21
3.6. Pruebas técnicas de funcionamiento 24
3.7. Evidencias del objetivo general 24
3.8. Costos de implementación 25
CAPÍTULO IV: METODOLIA Y RESULTADOS 26
4.1. Evaluación de usabilidad en taller 27
4.2. evaluación de usabilidad en taller (cuestionario). 28
4.3. Resultados obtenidos a través de encuesta. 29
4.4. Sugerencias y alcance de los resultados 33
5. Conclusión 36
6. Bibliografía 38
7. Anexos 39
7.1. QR – formulario 39

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración: 2-1- modelo digital tridimensional de un componente. 10
Ilustración: 2-2. Entorno inmersivo de Realidad Virtuales (RV) 11
Ilustración: 2-3 Interacción espacial con la Realidad Mixta (MR). 12
Ilustración: 2-4 Superposición de información en Realidad Aumentada (RA). 12
Ilustración:2-5. Detección de puntos de interés (Target Managert) en Vuforia Engin 14
Ilustración: 2-6. Logo corporativo Vuforia Engine. 14
Ilustración: 3.3. Software Unity 20
Ilustración: 3-4. Fusion 360, modelo 3d diseñado con el software. 21
Ilustración: 3.5 Plano de fabricación módulos habitacionales (torre). 22
Ilustración:3.6. Integración del modelo 3D, en el entorno físico. 23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:Matriz comparativa de tecnologías en realidad aumentada..... 13
Tabla 2:Matriz estimación de costos por un mes. 25
Tabla 3:Frecuencia de respuestas de la encuesta..... 29

ÍNDICE DE SIGLAS Y SIMBOLIGÍAS

RA: Realidad Aumentada

RM: Realidad Mixta

RV: Realidad Virtual

NCH: Normas Chilenas

2D: Bidimensional

3D: Tridimensional

BIM: Building Information Modeling

CAD: Computer – Aided Desing

CAM: Computer – Aided Manufacturing

CAE: Computer – Aided Engineering

SDK: Software Develop Kit

FPS: Frames Per Second

CPU: Central Processing Unit

GPU: Graphis Processing Unit

RAM: Random Access Memory

APK: Android application packge

EPP: Elementos de protección personal

Introducción

En el presente trabajo de título se analiza una brecha critica en el sector industrial: la ineficiente transferencia de información técnica bidimensional (PLANOS) desde los departamentos de ingeniería y oficinas técnicas hacia los diferentes equipos multidisciplinarios encargados de la ejecución en terreno, tales como supervisores, maestros mayores, soldadores y maestros de obra.

La celeridad y precisión geométrica demandadas por los proyectos de fabricación modernos contrastan con los sistemas tradicionales de representación planimétrica, los cuales dependen de manera sustancial de la capacidad interpretativa individual y de la experiencia empírica del personal.

En el contexto global contemporáneo, la adopción tecnológica impulsada por la cuarta revolución industrial (Industria 4.0) ha promovido los estándares de manufactura mediante la digitalización y la interconexión de sistemas físicos y virtuales. Este trabajo de título se enfoca en apoyar la interpretación de la planimetría de fabricación, mediante las herramientas de realidad aumentada (RA), se buscará reducir la brecha entre el conocimiento normativo formal y la práctica operativa en el taller.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DEL PROYECTO.

1. Este capítulo expone el marco introductorio y los antecedentes de la investigación, abordando la ineficiencia histórica en la transferencia de datos técnicos bidimensionales en los talleres de manufactura metalmecánica. Bajo el contexto global de la Industria 4.0 y el uso de modelos tridimensionales, se analiza críticamente la brecha existente entre el diseño tridimensional de ingeniería y la interpretación planimétrica subjetiva en taller. Asimismo, se formulan el objetivo general orientado al diseño de una solución de Realidad Aumentada, los objetivos específicos y se delimita el impacto de las variables físicas y ambientales en la estabilidad de la herramienta interactiva.

1.1. Antecedentes generales

La forma en que nace y se documenta un proyecto ha experimentado una fuerte transformación en las últimas décadas, pasando de un enfoque manual a uno totalmente digital, CAD 2D fue uno de los pioneros en este campo. Gracias al software de computadora se mejoró inmensamente los trazos y la precisión de los dibujos normados, ya no era necesario grandes maniobras para borrar algún trazo sobre el papel. Ahora es necesario solo un clic. posteriormente se introdujo el modelado 3D. Con esto y otras mejoras se hizo posible generar modelos digitales tridimensionales de gran calidad, así pudiendo recopilar y confirmar la información técnica antes de la fabricación, permitiendo abrir un camino a las mejoras tempranas reduciendo tiempos y costos.

Pero aun así persiste una paradoja en la industria metalmecánica, pese a la sofisticación de los modelos tridimensionales, la entrega de los planos de fabricación y/o montaje se sigue plasmando en formatos 2D.

Por consiguiente, uno de los desafíos prioritarios en la manufactura metalmecánica consiste en mitigar esta brecha informativa mediante la incorporación del modelo tridimensional al entorno del taller. Proporcionando una asistencia precisa y clara en tiempo real para todos los involucrados en el proyecto.

1.2. Contexto de la Industria 4.0

La cuarta revolución industrial o Industria 4.0 propone la digitalización de los procesos de manufactura mediante la interconexión de sistemas físicos y virtuales. Este proceso dio paso a lo que conocemos como Fábrica Inteligente.

Como consecuencia generó un impulso de la productividad y una creciente automatización. El desarrollo de las tecnologías de la información y de la capacidad de análisis de grandes bases de datos, están impactando de numerosas maneras la economía, incluida las formas de producción, generando nuevos desafíos para los países y las empresas.

1.3. Justificación de investigación

Esta investigación radica en la necesidad de modernizar los canales de transferencia de información técnica en los talleres de manufactura metalmecánica. La interpretación de planos bidimensionales (2D) bajo normas (NCH) Genera una desconexión informativa y cooperativa entre la oficina técnica y el personal ejecutor en terreno. Quienes tendrán que realizar un esfuerzo mental abstracto para traducir proyecciones ortogonales en modelos volumétricos reales.

Implementar una solución basada en realidad aumentada (RA) permite acceder a modelos tridimensionales como ayuda visual, manteniendo el plano como documento de referencia. Su utilidad se examina mediante la percepción de los usuarios. La reducción de errores y la mejora de productividad requerirían mediciones adicionales.

Para asegurar una lectura del documento técnico se consideran como referencias las Normas Chilenas aplicables al dibujo de fabricación: NCh14.Of93 – ISO 7200 (Dibujos técnicos – Cuadro de rotulación), NCh17.Of93 – ISO 6433 (Dibujos técnicos – Referencia de los elementos), NCh1193.Of93 – ISO 128 (Dibujos técnicos – Principios generales de representación), NCh1334:1994 (representación simbólica de soldaduras), estas referencias se aplican según el contenido y el nivel de detalle requerido en cada plano.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y fundamentar una aplicación móvil de realidad aumentada para apoyar la interpretación de planos de fabricación en entornos metalmecánicos, mediante la visualización interactiva de modelos digitales tridimensionales.

1.4.2. Objetivos Específicos:

- Determinar los requerimientos técnicos, las variables ambientales y las limitaciones operacionales de la realidad aumentada en entornos de manufactura metalmecánica.

- Implementar la integración de Autodesk Fusión 360, Unity y Vuforia Engine en un prototipo para Android que permita visualizar modelos digitales superpuestos sobre planos de fabricación.
- Formular una arquitectura lógica estructurada en capas que permita vincular planos bidimensionales con modelos tridimensionales, los planos como marcadores visuales para su superposición mediante realidad aumentada.
- Evaluar de manera exploratoria la percepción de los usuarios sobre la facilidad de uso de la aplicación y su utilidad como apoyo para la interpretación de los planos de fabricación.

1.5. Variables ambientales del taller y su impacto en las aplicaciones de RA.

Las variables ambientales representan el conjunto de factores de físicos, lumínicos y materiales adyacentes del entorno industrial. Donde opera la cámara del dispositivo móvil.

- Iluminación y sombras proyectadas: la iluminación deficiente del galpón puede alterar de manera drástica el contraste y la detección de bordes del formato del plano físico. Esto dificulta que el software detecte de forma continua los puntos de interés (feature points), provocando intermitencia o perdida del anclaje del modelo 3D.
- Suciedad: la constante manipulación física propia de un taller expone al plano a la acumulación de grasa, polvo u otras impurezas, que pueden ocultar características necesarias para su reconocimiento
- Reflejos: el papel brillante puede generar reflejos de luz que afecten la captura de la imagen y la estabilidad de la visualización.

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

2. la aplicación de la propuesta se fundamenta de un enfoque de arquitectura de software de tres capas independientes, estructurando de manera lógica la entrada física, el procesamiento de la información y la salida interactiva del sistema. Se detalla la base del *"tracking"* óptico de Vuforia Engine y el funcionamiento del *"imagen target"* basado en los puntos de interés del plano.

2.1. Digital modelo digital tridimensional y gemelo digital

Un gemelo digital es una representación virtual de un objeto o sistema diseñado para reflejar un objeto físico con precisión. Abarca el ciclo de vida del objeto, se actualiza a partir de datos en tiempo real y utiliza la simulación, el machine learning y el razonamiento para ayudar a tomar decisiones (IBM, s. f.)[1].

Un modelo digital tridimensional representa la geometría de un componente. En este proyecto se utiliza esta denominación, ya que no se documenta una conexión de datos en tiempo real con el activo físico.

La integración de la industria 4.0 facilita la sincronización de activos físicos con sus contrapartes virtual, proceso denominado conceptualmente como Gemelo digital (ver ilustración 2-1).



Fuente: elaboración propia, con datos de repuesto de pared de radiación horno flash
Ilustración :2-1- modelo digital tridimensional de un componente.

2.2.Fundamentos de la Realidad Aumentada (RA)

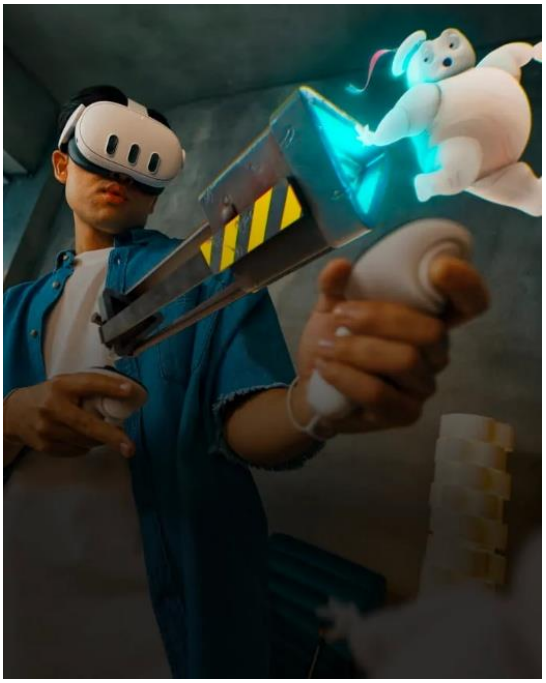
Resulta indispensable establecer una distinción rigurosa de ingeniería entre las tecnologías de Realidad Virtual (RV), Realidad Mixta (RM) y Realidad Aumentada (RA), clasificadas técnicamente dentro del espectro continuo de la Realidad Extendida

2.2.1. Realidad virtual (RV)

La realidad virtual (RV) se refiere a entornos generados por computadora que reemplazan completamente el entorno del usuario con contenido interactivo e inmersivo experimentado a través de visores montados en la cabeza, creando la sensación de estar físicamente presente en mundos simulados (Unity, s. f.)[2]. (ver ilustración 2-2). Este

fenómeno permite al usuario experimentar la sensación cognitiva de encontrarse físicamente presente dentro de un espacio simulado. Para lograr este nivel de asimilación, la tecnología se sustenta sobre dos pilares fundamentales antes mencionados, la inmersión y la interactividad.

- Inmersión: capacidad física del sistema para aislar los canales sensoriales del usuario de los estímulos del mundo real, remplazándolos con información generada por computadora. Información que será administrada a través de la combinación del software Unity Hub y la plataforma Vuforia Engine que profundizaremos más adelante en el texto.



Fuente: glosario software Unity web
Ilustración : 2-2. Entorno inmersivo de Realidad Virtuales (RV)

- Interactividad: Corresponde al acoplamiento en tiempo real entre el usuario y la simulación 3D. En un sistema interactivo las acciones físicas del operador como desplazamientos corporales, movimientos oculares o gestos manuales serán captados de manera continua por sensores y traducidas instantáneamente en cambios visuales dentro de la escena virtual.

2.2.2. Realidad Mixta:

La Realidad Mixta (RM) significa una experiencia híbrida donde los elementos digitales y físicos coexisten e interactúan en tiempo real, colocándola en un espectro entre la realidad virtual pura y la realidad aumentada para crear entornos donde los objetos virtuales están anclados e interactúan con espacios físicos (ver ilustración 2-3).



Fuente: unity.com
Ilustración :2-3 Interacción espacial con la Realidad Mixta (MR)

2.2.3. Realidad aumentada (RA)

La realidad aumentada es la superposición de contenido digitalmente creado sobre el mundo real. La realidad aumentada - o 'RA' - permite al usuario interactuar tanto con el mundo real como con elementos o aumentaciones digitales (Unity, s. f.)[3]. (ver ilustración 2-4).



Fuente: htttp.www.Unity.com
Ilustración : 2-4 Superposición de información en Realidad Aumentada (RA).

Para explicar de una mejor forma y más visual las diferencias fundamentales de la tecnología virtual basadas en modelos tridimensionales se presenta la tabla siguiente:

Tabla 1Matriz comparativa de tecnologías en realidad aumentada

Criterio	Realidad Virtual (VR)	Realidad Mixta (MR)	Realidad Aumentada (RA)
Entorno visual	100 %digital (Aislado del entorno digital	Entorno hibrido donde lo físico y lo digital coexisten e interactuar.	Entorno real (datos virtuales superpuestos)
Percepción (usuario)	inmersión total mediante visores (Oculus Quest)	Vision del mundo real, con mapeo y oclusión espacial	Vision directa del mundo real a través de pantallas o lentes trasparentes.
interacción con el medio	Solo con elementos virtuales	Interactividad bidireccional; los objetos virtuales reaccionan a los físicos	Interacción pasiva; los gráficos digitales no alteran lo real
Aplicación en Maestranza	Entrenamiento previo y simulación de riesgos en entornos controlados	inspección de control de calidad comparando piezas físicas con CAD *in situ*	Lectura en planta de planos de fabricación y guías de armado (este proyecto)

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de glosario http.www.unity.com

2.3. Imágenes Objetivo y herramientas de desarrollo.

Las imágenes objetivo (*Imagen Targets*) corresponden a imágenes que Vuforia Engine es capaz de detectar y rastrear mediante la comparación de las características naturales extraídas de la imagen capturada por la cámara con una base de datos previamente registrada. Una vez identificada la imagen objetivo, el motor mantiene su seguimiento de manera continua, permitiendo la superposición estable del contenido de realidad aumentada (PTC, s. f.). (ver ilustración 2-5).



Fuente: catalogo http.www.vuforia.com
Ilustración 5:2-5. Detección de puntos de interés (Target Managert) en Vuforia Engin

Vuforia Engine es una plataforma de desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada que aporta funciones de reconocimiento y seguimiento. Su integración con Unity permite incorporar estas funciones en aplicaciones móviles.

Fuente: catalogo- http.www.vuforia.com
Ilustración 6: 2-6. Logo corporativo Vuforia Engine.

Unity Opera como el entorno de integración y renderizado en tiempo real Unity Hub permite gestionar las instalaciones, pero no corresponde al motor que representa la escena.

Autodesk fusión 360 es software de diseño y manufactura que permite la creación, manipulación y visualización de objetos digitales 3D. En este proyecto se utilizó fusión 360 para preparar los modelos que posteriormente se integraron en Unity.

CAPÍTULO III: DESAROLO DE LA APLICACION

3.1. Arquitectura lógica de tres capas

La aplicación se fundamenta sobre una arquitectura de tres capas independientes que permiten la superposición en tiempo real del modelo 3d sobre el plano físico. La elección de una arquitectura divida en tres capas independiente responde al principio de aislamiento de responsabilidad. Esta separación es crítica en aplicaciones industriales de tiempo real por tres razones fundamentales.

- Capa de entrada (entorno físico): El plano de fabricación impreso con la normativa chilena NCH actuara como un estímulo visual pasivo (imagen target). La cámara del dispositivo móvil capturara la información geométrica y lumínica del entorno físico.
- Capa de procesamiento: Vuforia Engine reconoce la imagen entrante, extrae los puntos de referencia y calcular la posición espacial, con el software Vuforia Engine procesa el modelo 3D importado desde (Fusión 360) calculando la perspectiva correcta del modelo 3D con relación al plano de fabricación.
- Capa de salida (interfaz de usuario): Corresponde a la pantalla del dispositivo móvil, donde se proyectará la fusión del entorno real capturado por la cámara junto con el modelo tridimensional generado por computadora, logrando el efecto de realidad aumentada.

La separación en capas organiza las responsabilidades del sistema la estabilidad de la visualización depende también de la calidad del plano coma las condiciones del entorno y el dispositivo utilizado.

3.2.Capa de entrada (entorno físico):

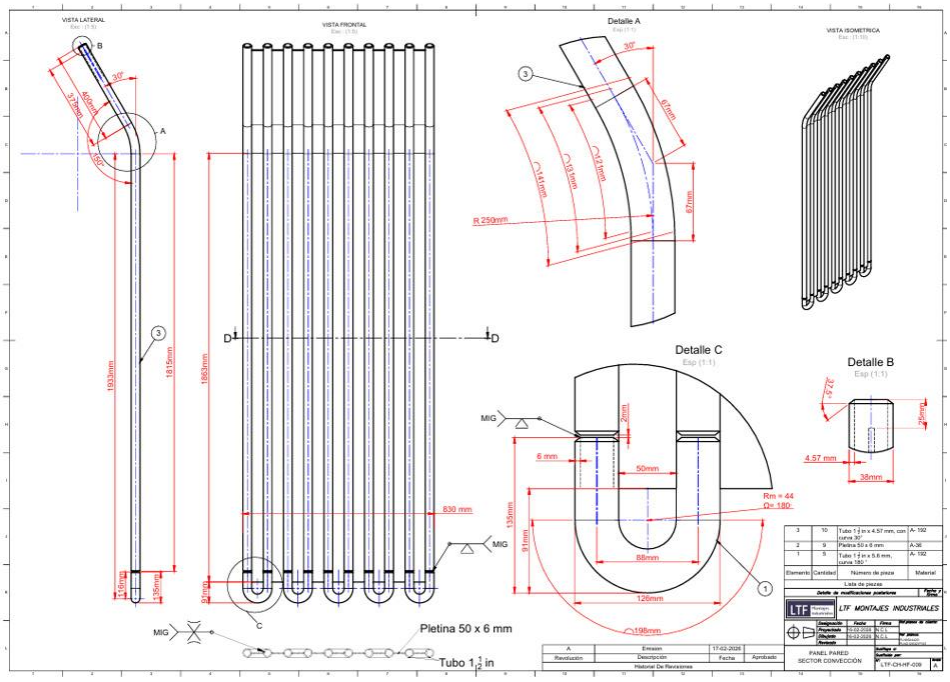
La primera capa constituye la base del anclaje de la aplicación al mundo físico. Este anclaje es el plano respaldado con las normas chilenas (Nch). Además, funcionara como una Imagen Target dándole estabilidad a la aplicación móvil.

El desarrollo de la imagen objetivo es relevante para la calidad de los datos entrantes. Las cotas, líneas de contorno, cajetines y rótulos pueden aportar puntos de interés para el reconocimiento. Su distribución y visibilidad deben comprobarse en la aplicación.

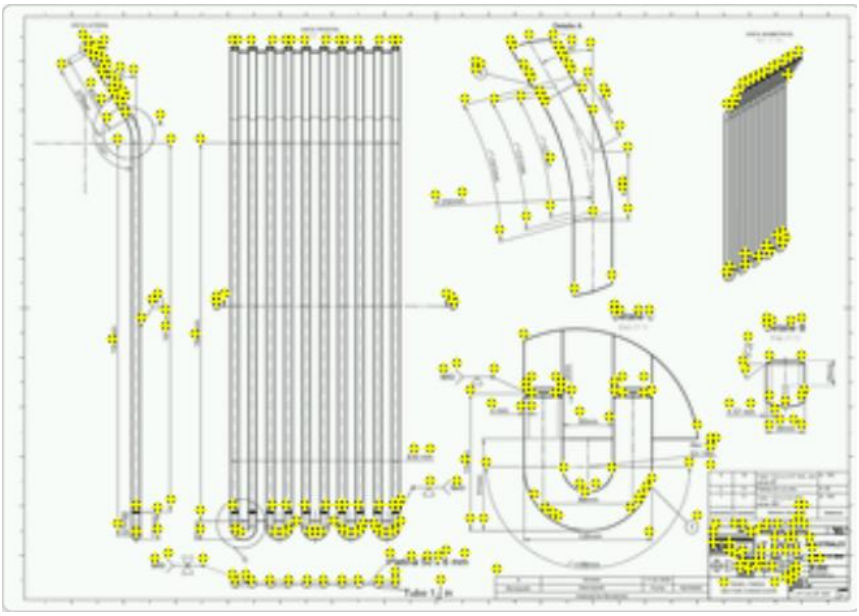
3.2.1. Plano de fabricación como imagen objetivo *"target"*.

El correcto desarrollo del target es crítico ya que de esta depende la calidad de los datos entrantes. Tendrá una doble funcionalidad: primero como un plano de fabricación respaldado por las normas chilenas de dibujo técnico siendo un documento de información crucial, el plano será entregado a todos los responsables del proceso de fabricación. También como un anclaje físico ideal para el proyecto, siendo desde la perspectiva computacional un marcador natural, los planos poseen una alta densidad de puntos de interés.

Estos puntos de interés serán las guías para la comunicación de lo físico a lo digital, la existencia de más de estas referencias o marcas digitales son esenciales para visualizar el proyecto (ilustración 2-3).



Fuente: elaboración propia, con datos de repuesto de pared de radiación de horno flash
Ilustración 7: 3-1. Plano de fabricación utilizado como imagen objetivo.



oración propia, con datos de repuesto de pared de radiación de horno flash
Ilustración 8: 3-2. Puntos de interés en amarillo del plano.

3.3.Segunda capa: Capa de procesamiento

la segunda capa de la arquitectura propuesta operara como un núcleo central computacional del sistema de realidad aumentada. La función principal será recibir los datos en el dispositivo móvil, la aplicación analizará la imagen y estima la posición en la debe proyectarse el modelo digital tridimensional.

3.3.1. Procesamiento de visión artificial y tracking (Vuforia Engine).

Cuando en el dispositivo móvil ya se encuentra instalada la (APK), y mediante la cámara del dispositivo ubicara el plano de fabricación. esta detectara los puntos de interés funcionando como mapa digital.

- *Extracción y emparejamiento:* El algoritmo de Vuforia buscara los puntos de interés ubicadas en el plano y las referencias registradas (puntos de interés).
- *Cálculo de posicionamiento*: Cuando Vuforia Engine identifica suficientes coincidencias entre las características del plano de fabricación captadas por la cámara y la imagen de referencia registrada en la base de datos, estima en tiempo real la posición del plano en los ejes X, Y y Z, así como su

orientación espacial. Esta información permite ajustar la posición y la rotación del modelo 3D para mantenerlo vinculado con el plano físico mientras el usuario cambia el ángulo de visión, siempre que se conserve el seguimiento de la imagen de referencia.

3.3.2. Renderizado y jerarquía en (Unity Hub 3D).

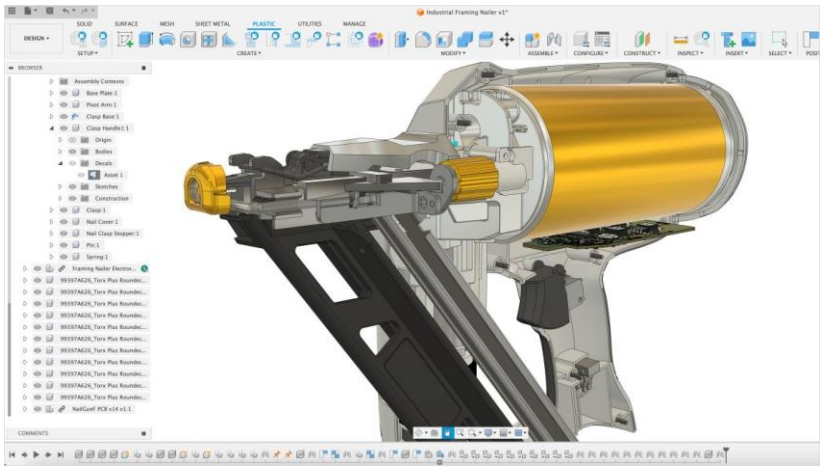
Unity 3d opera como el entorno de integración y renderizado espacial en tiempo real. Su función principal consiste en vincular el modelo tridimensional paramétrico, diseñado previamente en Autodesk Fusión 360 con la referencia configurada mediante Vuforia Engine.

- *Unity Hub:* Unity es un motor en tiempo real que permite crear aplicaciones 2D y 3D, y luego utilizar sus servicios de juegos para gestionar el ciclo de vida de la aplicación una vez finalizado su desarrollo. (ver ilustración 3.3).



Fuente: glosario http.www.Unity.com
Ilustración :3.3. Software Unity

Autodesk Fusión: es una plataforma de software CAD, CAM, CAE, PCB y administración de datos de modelado 3D basada en la nube para el diseño y la manufactura de productos. Es una herramienta dinámica que permite la creación, la manipulación y la visualización de objetos 3D digitales. (ver ilustración 3.4).



Fuente: htpp.www.autodesk.com
Ilustración :3-4. Fusión 360, modelo 3d diseñado con el software.

3.4.Capa de salida (interfaz de usuario)

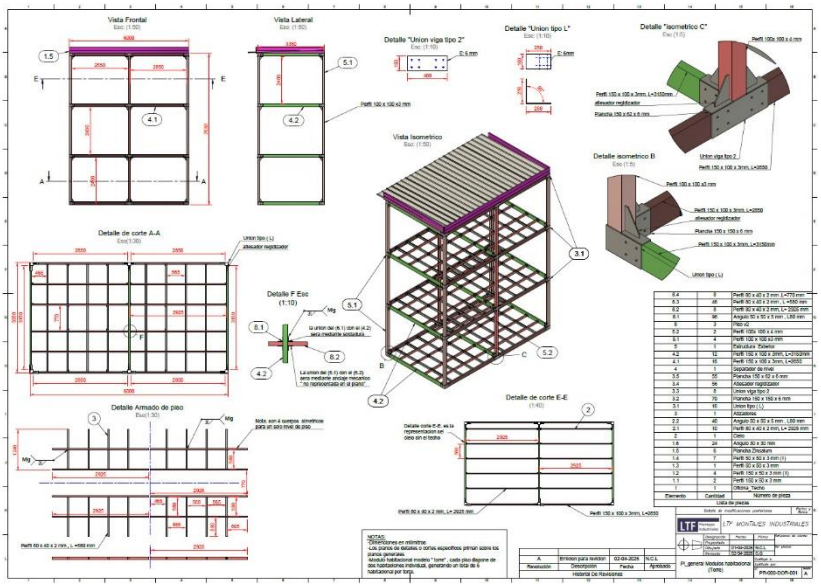
Permite la salida de datos luego de que toda la información ha sido procesada. En este sentido, la imagen muestra la capa de salida de la aplicación móvil en desarrollo, donde el dispositivo reconoce el plano físico mediante la cámara y proyecta sobre él modelo 3D correspondiente.

De esta manera, el modelo tridimensional se visualiza en realidad aumentada en la pantalla del dispositivo móvil. Su perspectiva se actualiza en tiempo real al cambiar el ángulo de observación, manteniendo la relación espacial con el plano mientras se conserve su seguimiento. Esta superposición ofrece un apoyo visual para interpretar la información técnica del plano.

3.5.Desarrollo técnico de la aplicación.

3.5.1. Planos de fabricación como Imagen Target.

El plano de fabricación es utilizado con una doble función dentro del proyecto. Por una parte, mantiene su propósito habitual como documento técnico para comunicar dimensiones, vistas, cotas y demás de los detalles necesarios durante la fabricación. Por otra parte, se configuró como imagen objetivo para establecer el vínculo entre el entorno físico y el modelo virtual (ver ilustración 3.5).



Fuente: Elaboración propia, plano de fabricación
Ilustración : 3.5 Plano de fabricación módulos habitacionales (torre).

3.5.2. Reconocimiento y procesamiento mediante Vuforia Engine.

El reconocimiento del plano se configuró mediante Vuforia Engine, utilizando sus características visuales como referencia para la detección y el seguimiento. Cuando la cámara del dispositivo móvil enfoca el documento, el sistema compara los elementos capturados con la imagen objetivo previamente registrada y, al encontrar suficientes coincidencias, determina su posición y orientación espacial. Este proceso permite calcular el comportamiento del contenido digital respecto a los ejes X, Y, Z y mantener el modelo vinculado con el plano mientras el usuario modifica la distancia o el ángulo de observación.

3.5.3. Generación y funcionamiento de la APK.

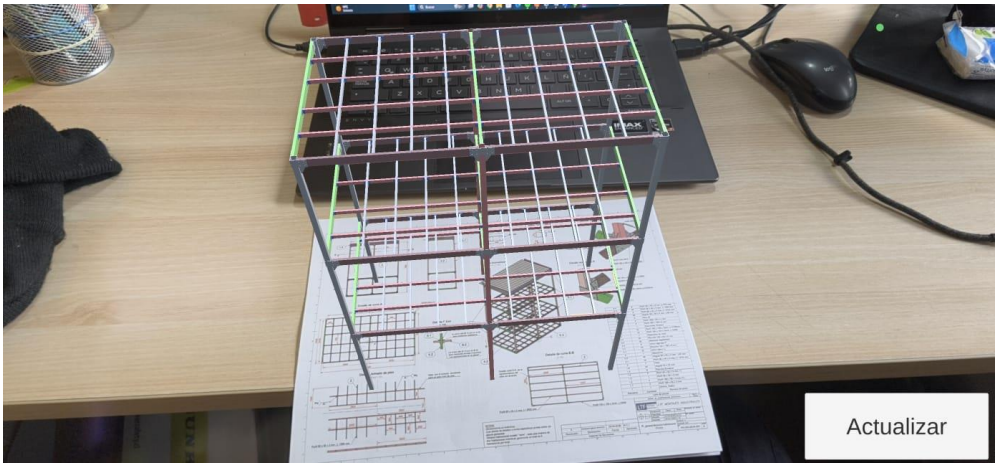
Una vez integrados los componentes del sistema, el proyecto fue compilado para generar un archivo APK instalable en dispositivos móviles con sistema operativo Android. Al ejecutar la aplicación, se activa la cámara del dispositivo para iniciar la búsqueda de la imagen objetivo; cuando el plano es reconocido, el sistema procesa su posición y muestra sobre este el modelo tridimensional correspondiente.

El funcionamiento sigue, por tanto, una secuencia sencilla para el usuario: iniciar la aplicación, enfocar el plano de fabricación y observar la representación 3D superpuesta en la pantalla. Esta etapa permitió disponer de una versión funcional para realizar posteriormente las pruebas técnicas y la experiencia de uso con los trabajadores participantes.

3.5.4. Integración del modelo 3D mediante Fusión 360 y Unity.

El componente tridimensional utilizado en la aplicación fue preparado mediante Autodesk Fusión 360 y posteriormente incorporado al entorno de desarrollo de Unity. Una vez importado, el modelo se vinculó con la imagen configurada en Vuforia Engine, de manera que su posición, escala y orientación respondieran a la referencia espacial obtenida durante el reconocimiento del plano.

Esta integración permitió relacionar tres elementos del sistema: el documento físico utilizado en el taller, la representación tridimensional del componente y el procesamiento realizado por el dispositivo móvil para generar la visualización en tiempo real (ver ilustración 3.6).



Fuente: elaboración propia, captura de la aplicación.
Ilustración :3.6. Integración del modelo 3D, en el entorno físico.

3.6. Pruebas técnicas de funcionamiento

Una vez generada la versión funcional de la aplicación, se realizaron pruebas técnicas para comprobar su comportamiento antes de la experiencia con los usuarios. Estas pruebas consideraron la capacidad del sistema para reconocer el plano de fabricación, mantener estable la superposición del modelo tridimensional y responder ante cambios en la distancia y el ángulo de observación. También se observó su funcionamiento bajo diferentes condiciones de iluminación y la capacidad de recuperar la visualización cuando el plano dejaba temporalmente de ser reconocido por la cámara. (ver ilustración 3.7).



Fuente: elaboración propia, registro de pruebas técnicas.
Ilustración:3.7. Acercamiento de la aplicación al taller.

3.7.Evidencias del objetivo general

El cumplimiento del objetivo general se sustenta en la arquitectura de tres capas, el plano de fabricación configurado como imagen objetivo y la integración de Autodesk Fusión 360, Unity y Vuforia Engine en una aplicación para Android. La APK y las capturas del modelo tridimensional superpuesto al plano evidencian el funcionamiento del prototipo como apoyo visual para la interpretación de planos.

La encuesta aplicada a 11 participantes aporta una evaluación exploratoria de la facilidad de uso y la utilidad percibida de la aplicación. En conjunto, estas evidencias respaldan el diseño y la fundamentación de la propuesta dentro del alcance del estudio.

3.8.Costos de implementación

Se presenta una estimación de referencia para reproducir el prototipo durante un mes. Los valores de personal y tipo de cambio son supuestos de valoración del proyecto.

Tabla 2:Matriz estimación de costos por un mes.

Concepto	**Supuesto**	**CLP**
Ingeniero en Fabricación y Diseño Industrial	Modelado, plano y revisión técnica.	$ 800.000
Técnico programador junior	Integración, interfaz y pruebas.	$ 1.279.538
Autodesk Fusión comercial	US$85 × $950 CLP/USD.	$ 80.750
Vuforia Basic	Imagen Targets, sin funciones premium.	$ -
Unity	Escenario académico declarado.	$ -
Impresión	Planos y formularios.	$ 20.000
Total, estimado	Un mes; equipos disponibles.	$ 2.180.288

Fuente: *elaboración propia a partir de tarifas de referencia de Autodesk y PTC, y antecedentes de remuneraciones publicados en Mi Futuro.cl.*

El computador y el teléfono Android son equipos de uso personal ya disponibles y no se sumaron al costo de la aplicación. El total no incluye recargos tributarios o laborales. Vuforia y Unity se consideran costo cero por ser planes básicos.

<u>CAPÍTULO IV:</u> METODOLIA Y RESULTADOS

4.1.Evaluación de usabilidad en taller

Para recopilar la información necesaria durante la evaluación de la aplicación se utilizó un formulario estructurado compuesto por ocho Afirmaciones cerradas y una pregunta abierta, aplicado a los participantes una vez finalizada la interacción con la herramienta

La evaluación actual considera 11 participantes que pudieron visualizar y utilizar la aplicación de realidad aumentada. La experiencia consistió en abrir la APK, enfocar el plano y observar el modelo tridimensional superpuesto en la pantalla. Se recogieron sus percepciones sobre factibilidad de uso, claridad visual, estabilidad, utilidad para interpretar planos y experiencia general. El formulario incluyó 5 alternativas de respuesta totalmente en desacuerdo, en desacuerdo, neutral, de acuerdo y totalmente de acuerdo.

Además de recoger las percepciones de los participantes, durante las pruebas se observó el reconocimiento del plano la estabilidad del modelo tridimensional y el funcionamiento general de la APK. Estas observaciones permiten describir los funcionamientos del prototipo de las condiciones de la prueba, Mientras que la encuesta aporta una valoración exploratoria del usuario ya que no se hicieron ya que no mediciones comparativas de tiempo de fabricación ni de errores.

4.2. evaluación de usabilidad en taller (cuestionario).

Aplicación de Realidad Aumentada para la lectura de planos

Objetivo del cuestionario: *recopilar datos cuantitativos y cualitativos sobre la experiencia de uso de la aplicación móvil de Realidad Aumentada (RA). Los datos obtenidos serán procesados de forma confidencial y anónima para fines académicos de la investigación.*

Instrucciones: *marque una alternativa según su nivel de acuerdo con cada afirmación. Al final, puede agregar una sugerencia o comentario técnico de mejora.*

Escala de valoración:

1 Totalmente en desacuerdo (TD)	***2 En desacuerdo (D)***	***3 Neutral / Indiferente (N)***	***4 De acuerdo (A)***	***5 Totalmente de acuerdo (TA)***

1. La visualización del modelo tridimensional (gemelo digital) sobre el plano físico facilitó la comprensión inmediata de la geometría y de los componentes de la pantalla de radiación.

☐1 TD	*☐2 D*	*☐3 N*	*☐4 A*	*☐5 TA*

2. La proyección en realidad aumentada ayudó a resolver de manera autónoma dudas iniciales sobre ensambles complejos, posiciones de refuerzos o detalles de soldadura, sin necesidad de consultar a la oficina técnica.

☐1 TD	*☐2 D*	*☐3 N*	*☐4 A*	*☐5 TA*

3. Los botones y menús táctiles de la aplicación tienen un tamaño adecuado para interactuar de forma precisa, incluso al operar el teléfono utilizando guantes de protección industrial u otros elementos de protección personal (EPP).

☐1 TD	*☐2 D*	*☐3 N*	*☐4 A*	*☐5 TA*

4. El alto contraste cromático y los sombreados dinámicos del modelo 3D proyectado permitieron identificar con claridad las uniones y detalles bajo la iluminación actual del taller.

☐1 TD	*☐2 D*	*☐3 N*	*☐4 A*	*☐5 TA*

5. Las funciones interactivas en pantalla, como rotar la pieza y hacer zoom, son fáciles de usar y no requirieron un entrenamiento previo complejo.

☐1 TD	*☐2 D*	*☐3 N*	*☐4 A*	*☐5 TA*

6. El modelo tridimensional permaneció anclado de forma estable sobre el plano físico (Imagen Target), sin parpadeos molestos, incluso al mover el celular a diferentes distancias y ángulos.

☐1 TD	*☐2 D*	*☐3 N*	*☐4 A*	*☐5 TA*

7. El tiempo de respuesta del sistema, desde que se apunta la cámara al plano físico hasta que aparece el modelo 3D con fluidez en pantalla, fue rápido y no generó retrasos en la actividad.

☐1 TD	*☐2 D*	*☐3 N*	*☐4 A*	*☐5 TA*

8. Me gustaría incorporar esta aplicación móvil de realidad aumentada como un estándar de apoyo diario en el taller de fabricación de estructuras metálicas.

☐1 TD	*☐2 D*	*☐3 N*	*☐4 A*	*☐5 TA*

9. ¿Tiene alguna sugerencia de mejora para la aplicación?

Puede considerar aspectos como controles de pantalla, iluminación, estabilidad del modelo 3D, comportamiento del sistema, tamaño de los botones u otros detalles técnicos.

4.3.Resultados obtenidos a través de encuesta.

Tabla 3Frecuencia de respuestas de la encuesta

Ítem	TD	D	N	A	TA
1. Comprensión geométrica	0	0	0	1	10
2. Resolución autónoma de dudas	0	0	0	4	7
3. Controles y uso con EPP	0	0	3	4	4
4. Claridad visual	0	0	5	3	3
5. Rotación y zoom	0	0	2	3	6
6. Estabilidad	0	0	0	1	10
7. Rapidez percibida	0	0	0	0	11
8. Intención de uso	0	0	1	3	7

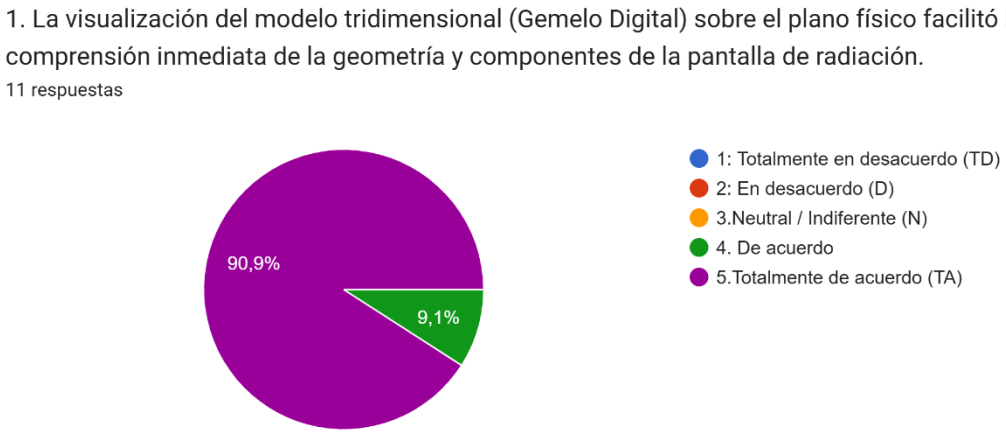
En comprensión geométrica y estabilidad, 10 participantes (90.9%) seleccionaron “Totalmente de acuerdo” y uno (9.1%) “De acuerdo”. En rapidez de repuesta, los 11 participantes (100%) seleccionaron “Totalmente de acuerdo”. Estas respuestas valoran el funcionamiento percibido de la aplicación.

En resolución autónoma de dudas, siete participantes (63,6 %) seleccionaron «Totalmente de acuerdo» y cuatro (36,4 %) «De acuerdo». Este resultado expresa una

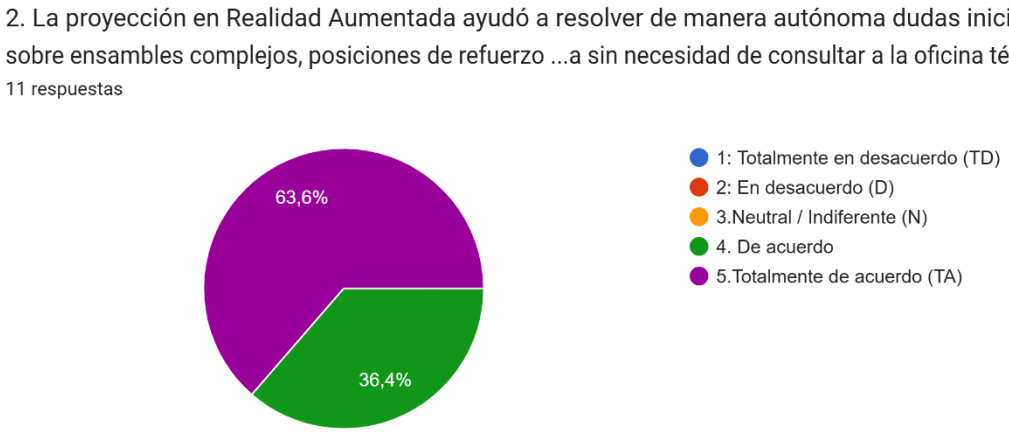
percepción favorable; no constituye una medición de errores ni demuestra que pueda prescindirse de la revisión técnica.

Las respuestas neutrales se concentran en claridad visual: cinco de 11 (45,5 %). También se registran tres en controles (27,3 %), dos en rotación y zoom (18,2 %) y una en intención de uso (9,1 %). No se registran respuestas en las categorías de desacuerdo.

4.3.1. Resultados encuesta (gráficos)



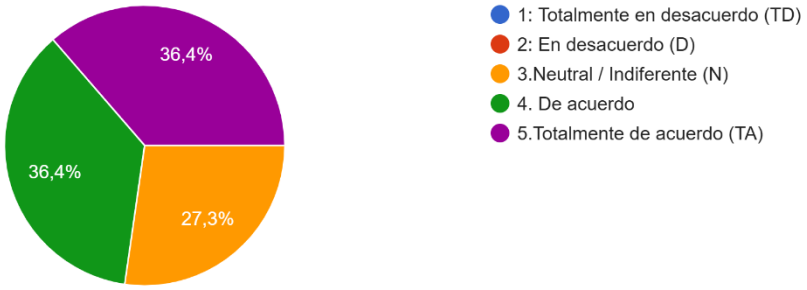
Fuente: Datos obtenidos de la encuesta de usabilidad.
Gráfico: 4.1. Resultado de ítem 1.



Fuente: Datos obtenidos de la encuesta de usabilidad.
Gráfico: 4.2 Resultado de ítem 2.

3. Los botones y menús táctiles de la aplicación tienen un tamaño adecuado para interactuar de forma precisa, incluso al operar el teléfono utilizando guantes de protección industrial u otros EPP

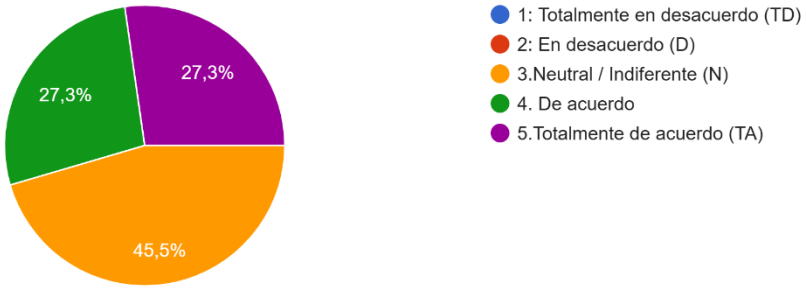
11 respuestas



Fuente: Datos obtenidos de la encuesta de usabilidad.
Gráfico: 4.3 Resultado de ítem 3.

4.El alto contraste cromático y los sombreados dinámicos del modelo 3D proyectado permitieron identificar con claridad las uniones y detalles bajo la iluminación actual del taller.

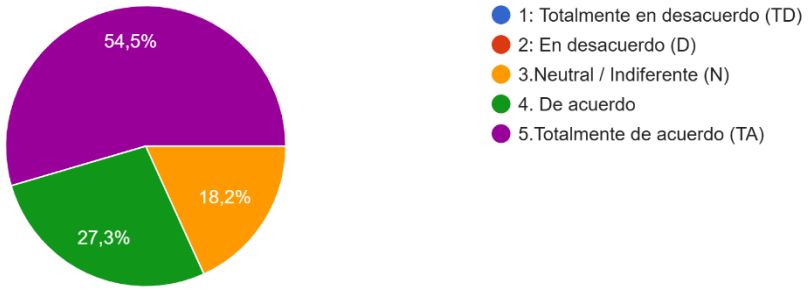
11 respuestas



Fuente: Datos obtenidos de la encuesta de usabilidad.
Gráfico: 4.4 Resultado de ítem 4.

5. Las funciones interactivas en pantalla (como rotar la pieza, hacer zoom) son fáciles de usar y no requirieron de un entrenamiento previo complejo.

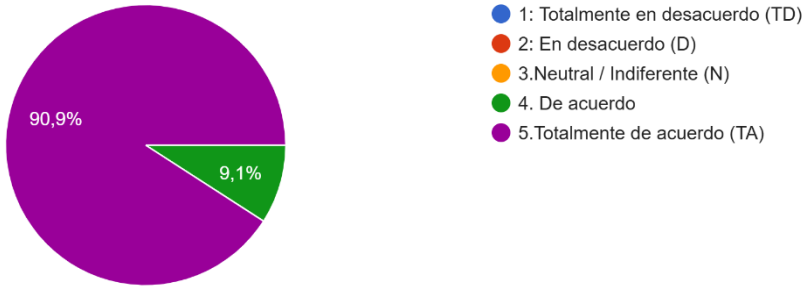
11 respuestas



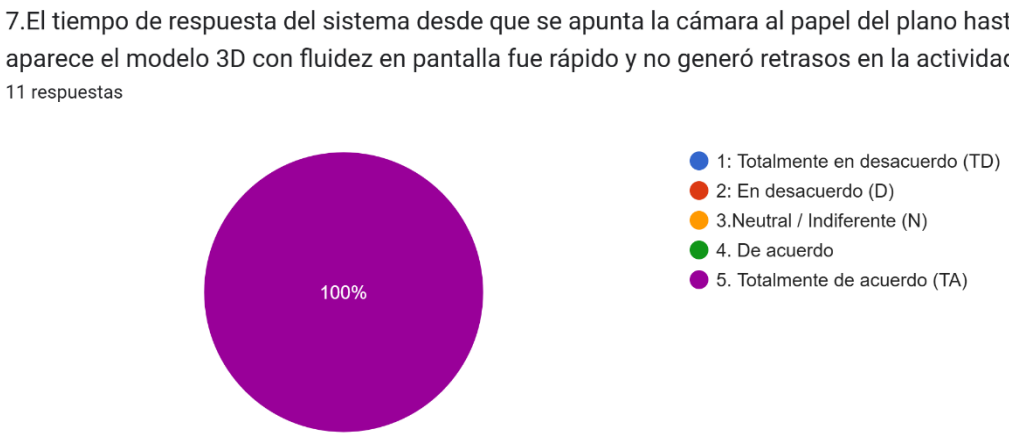
Fuente: Datos obtenidos de la encuesta de usabilidad.
Gráfico: 4. Resultado de ítem 5.

6. El modelo tridimensional permaneció anclado de forma estable sobre el plano físico (Image Target) sin parpadeos molestos, incluso al mover el celular a diferentes distancias y ángulos.

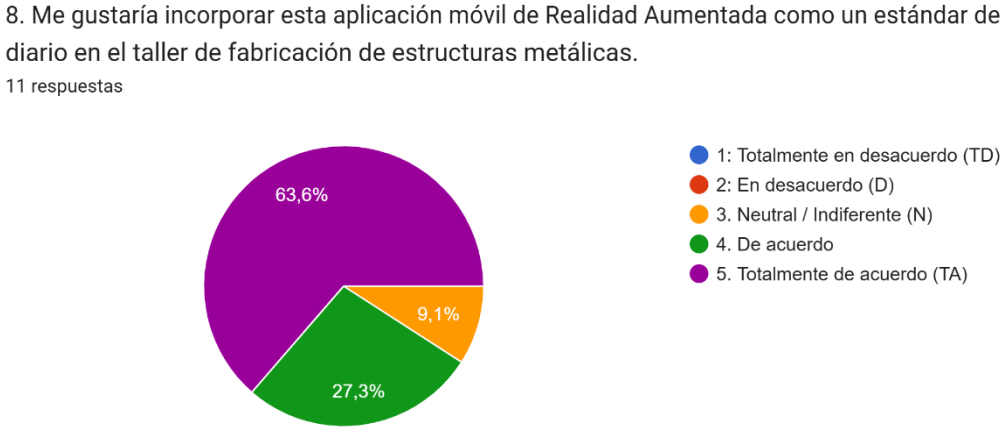
11 respuestas



Fuente: Datos obtenidos de la encuesta de usabilidad.
Gráfico: 4.6 Resultado de ítem 6.



Fuente: Datos obtenidos de la encuesta de usabilidad.
Gráfico: 4.7 Resultado de ítem 7.



Fuente: Datos obtenidos de la encuesta de usabilidad.
Gráfico: 4.8 Resultado de ítem 8.

4.4.Sugerencias y alcance de los resultados

Las sugerencias recogidas del reporte solicitan incorporar más modelos, representaciones a escala 1 a 1, modelo de máquinas, vistas de detalle, leyenda de información de soldadura, posibles secuencias de armado. Estas observaciones orientan posibles mejoras de la aplicación que sugirieron los encuestados.

La valoración general es favorable, la claridad visual y el uso de los controles presentan respuestas neutrales que se deben considerar futuras mejoras. El tiempo de respuesta consultando corresponde al funcionamiento de la aplicación, no al tiempo de fabricación de una estructura.

La muestra de 11 participantes permite ampliar la descripción de la experiencia de uso, pero el estudio continúa siendo exploratorio. Al tratarse de percepciones y no se una comparación controlada; por ello, no permiten demostrar reducciones de errores o tiempos de fabricación.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5. Conclusión

El proyecto desarrollado permitió diseñar y poner en funcionamiento una aplicación móvil de realidad aumentada destinada a apoyar la lectura de planos de fabricación en un entorno metalmecánico. La solución utiliza el propio plano como imagen objetivo, por lo que conserva el flujo documental habitual y añade una representación 3D que permite relacionar vistas, dimensiones y componentes con la geometría del conjunto.

Se identificaron los requerimientos técnicos y las condiciones ambientales relevantes para su utilización, entre ellas la iluminación, el contraste y la limpieza del documento. Estas condiciones orientan el uso de la aplicación en taller, aunque no se establecieron umbrales cuantitativos de desempeño.

La integración de Autodesk fusión 360, Unity y Vuforia Engine permitió generar una APK funcional para Android los modelos preparados en Fusión 360 se incorporaron en Unity y se vincularon con los planos registrados en Vuforia Engine. Esta implementación permitió visualizar los modelos tridimensionales superpuestos sobre los documentos físicos y comprobar el funcionamiento del prototipo en las condiciones de la prueba descritas.

La arquitectura lógica de tres capas permitió organizar las funciones del sistema. La entrada corresponde a la captura del plano mediante la cámara; el procesamiento comprende el reconocimiento y seguimiento de la imagen con Vuforia Engine y la integración de la escena en Unity; finalmente, la salida se presenta en la pantalla del dispositivo la imagen presenta la imagen del entorno junto con el modelo tridimensional. Esta organización establece el vínculo entre documentos bidimensionales y su representación digital.

La evaluación exploratoria con 11 participantes mostro una recepción general favorable, especialmente en comprensión geométrica, estabilidad, rapidez de respuesta y resolución de dudas. Estos resultados respaldan una percepción inicial positiva de la aplicación como apoyo para interpretar planos. También se identificaron aspectos por mejorar: la claridad visual concentro cinco respuestas neutrales, equivalentes al 45.5% y se registraron respuestas neutrales en los controles y la interacción con el modelo. Las sugerencias de incorporar más modelos y visitas de detalle orientan posibles mejoras de la herramienta.

En conclusión, el desarrollo y las evidencias presentadas respaldan el cumplimiento del propósito de diseñar y fundamentar una aplicación móvil de realidad aumentada capaz de vincular un plano de fabricación con su modelo tridimensional, proporcionado un apoyo visual para su interpretación en entornos metalmecánicos.

6. Bibliografía

1. IBM. (s. f.). *¿Qué es un gemelo digital?* IBM. https://www.ibm.com/es-es/think/topics/digital-twin
2. Unity. (s. f.). *Realidad virtual*. Unity. https://unity.com/es/glossary/vr
3. Unity. (s. f.). *Realidad virtual*. Unity. https://unity.com/es/glossary/vr
4. Unity. (s. f.). *Realidad aumentada*. Unity. https://unity.com/es/glossary/ar
5. PTC. (s.f.). *Imagen Targets*. Vuforia Engine Library. https://developer.vuforia.com/library/vuforia-engine/images-and-objects/image-targets/image-targets/

7. Anexos

7.1.QR – formulario



7.2. Enlace descarga aplicación

