



Universidad de
Oviedo



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ÁREA DE ORGANIZACIÓN DE EMPRESAS

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN DE
EVENTOS EN EQUIPOS DE TRANSPORTE DE PASAJEROS
BASADOS EN TECNOLOGÍA DE VISIÓN ARTIFICIAL E
INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

**D. RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, JOSE ÁNGEL
TUTOR: D. ROSILLO CAMBLOR, RAFAEL**

FECHA: septiembre de 2020

1. Índice

1. Índice	2
2. Lista de figuras	4
3. Lista de tablas	5
4. Introducción.....	6
4.1. Objetivos.....	6
4.2. Alcance del trabajo	7
4.3. Antecedentes	7
4.4. Diferencias entre ambos proyectos	8
5. Origen y desarrollo histórico.....	10
5.1. Inteligencia Artificial (IA)	10
5.2. Visión Artificial (VA).....	13
6. Descripción y generalidades del proyecto	16
6.1. Equipamiento utilizado y situación de las cámaras	16
6.2. Infografías y esquemas relacionados con el montaje.....	21
7. Métricas	24
8. Procedimiento para realización de las pruebas.....	27
8.1. Características de la iluminación	27
9. Introducción de los eventos y explicación de los algoritmos que intervienen.....	29
9.1. Introducción	29
10. Pruebas iniciales.....	31
10.1. Resumen de siglas	32
11. Planificación	33
12. Presupuesto.....	35

13.	Conclusiones	36
14.	Agradecimientos.....	38
15.	Bibliografía	39
16.	Anexos	40
16.1.	ANEXO I: Esquema planificación MS Project.....	40
16.2.	ANEXO II: Estadísticas de la planificación del proyecto.....	41

2. Lista de figuras

Figura 5.1: Ejemplo de sistema con VA integrada para el control de calidad de una cervecería.....	14
Figura 5.2: Más ejemplos de uso industrial para la VA.....	15
Figura 6.1: Situación de la cabina de pruebas	16
Figura 6.2: Soporte comercial empleado.....	17
Figura 6.3: Cámara Intel® RealSense™ Depth Camera D435i.....	18
Figura 6.4: Unidad de procesamiento para las cámaras.....	20
Figura 6.5: Procesador acoplado a las cámaras.....	21
Figura 6.6: Vista en planta y lateral de la cabina incluyendo las cámaras instaladas	21
Figura 6.7: Configuración de la cámara interior.....	22
Figura 6.8: Configuración y unidad de procesamiento de la cámara exterior	22
Figura 6.9: Comunicación red local/cámaras a través del procesador y el ethernet	23
Figura 8.1 Luxómetro “Mavolux 5032 C”	27
Figura 16.1: Esquema Microsoft Project	40
Figura 16.2: Estadísticas planificación para el proyecto	41

3. Lista de tablas

Tabla 1: Especificaciones técnicas de las cámaras instaladas	19
Tabla 2: Especificaciones técnicas procesador	21
Tabla 3: EDT para la planificación.....	34
Tabla 4: Presupuesto aproximado	35

4. Introducción

Este trabajo se centra en el desarrollo de tecnologías que permitan un entorno de transporte seguro, eficaz y eficiente, recurriendo a técnicas basadas en la Inteligencia Artificial y Visión Artificial.

4.1. Objetivos

El principal objetivo de este proyecto es lograr implementar tecnologías y algoritmos, íntimamente ligados al paradigma de la visión artificial (VA) y la inteligencia artificial (IA), de tal forma que permitan identificar una serie de circunstancias predefinidas, en un ambiente de trabajo concreto¹, en tiempo real y poder extraer conclusiones a partir de los datos obtenidos.

Las circunstancias a identificar se denominarán eventos a analizar, el ambiente de trabajo es básicamente una réplica de una cabina de ascensor, con dimensiones típicas del formato de ascensor estadounidense, y dentro de las conclusiones a extraer pueden encontrarse tanto la identificación de accidentes dentro de la cabina, como actos de vandalismo durante los traslados, así como la superficie ocupada por los pasajeros durante los diferentes viajes, o la presencia de personas con movilidad reducida y robots.

A la hora de poder identificar estos eventos de forma eficiente, y con el coste más competitivo posible, se ha decidido apostar por implementar un sistema que aúna algoritmos informáticos fuertemente ligados a la IA junto con un sistema de cámaras al que se ha implementado VA, de esta forma se obtiene un entorno controlado por cámaras de vigilancia, secundadas por potentes algoritmos de identificación tanto de presencia de personas y robots, como de ocupación y vandalismo en general, que permite monitorizar, responder y actuar en tiempo real ante cualquier tipo de imprevisto.

Otro punto interesante de las cámaras seleccionadas para controlar la cabina de ascensor es que al disponer de un módulo de visión 3d², se puede parametrizar y definir el interior y el hall de la cabina con precisión, para de esta forma tener una idea bastante precisa de cómo está siendo la interacción del usuario con el propio ascensor, o actuar en caso de ver alguna emergencia/actividad sospechosa.

¹ En el caso particular de este proyecto será para el transporte con ascensores tanto de personas como de robots

² Su funcionamiento se desarrollará en apartados posteriores

Para obtener datos con el fin de entrenar los algoritmos de VA, se han llevado a cabo una serie de pruebas con distintos eventos y tipos de iluminación, la duración de las mismas, el tipo de evento a simular, el número de personas que intervienen y la posición de las mismas vienen ya definidas en un plan de ensayo, que se desarrollará en su correspondiente apartado.

4.2. Alcance del trabajo

- En esta memoria se detallará el procedimiento seguido para evaluar la capacidad de los algoritmos de visión artificial implementados, a la hora de identificar diferentes tipos de eventos en el prototipo de cabina anteriormente mencionado.
- Se resumirá el proceso de ajuste y calibración de dichos algoritmos para mejorar su precisión.
- Se comentarán las principales métricas ligadas al concepto de precisión y sensibilidad para sistemas con visión artificial.
- Se analizarán los algoritmos de identificación de eventos y sus posibles fallos y/o mejoras.
- Se describirá el procedimiento para realizar las pruebas, su duración, el número de repeticiones por evento y conclusiones obtenidas.
- Se explicará brevemente el método de entrenamiento de los algoritmos.
- Por último, se resumirán las conclusiones obtenidas y se presentará una solución comercial³ para el equipo utilizado, así como para cabinas de ascensores con dimensiones similares.

4.3. Antecedentes

Este proyecto constituye una continuación directa de un proyecto similar, llevado a cabo en la empresa thyssenkrupp Elevator Innovation Center S.A. de Gijón.

Dicho proyecto finalizó en enero de este año y los responsables fueron los representantes del área de visión/inteligencia de la empresa: Marcos Pérez Pérez y Alejandro Granda.

A diferencia de esta nueva versión en la antigua únicamente se estudiaron los eventos de ocupación, con una versión “inferior” del algoritmo que se desarrollará en apartados

³ Conjunto de condiciones para las que se pueden asegurar una sensibilidad y precisión suficientes como para poder obtener resultados satisfactorios con el sistema

posteriores, los eventos de manipulación, simplemente de manera descriptiva sin llegar a documentar conclusiones definitivas, y los eventos de caída en el interior de cabinas.

Otra diferencia notable son las dimensiones de la cabina a estudiar, siendo mucho más pequeña que la nueva cabina, lo cual condicionó el número de sujetos a participar en las distintas pruebas.

Las principales aportaciones de dicho trabajo de investigación al proyecto actual son las siguientes:

- Definición de una metodología de ensayo a replicar. Con sus tiempos, parámetros y variables a considerar.
- Creación de las bases de los algoritmos para la identificación de personas y robots, así como para los distintos eventos a analizar⁴.
- Definición de las métricas a utilizar y de las pruebas necesarias para la evaluación.
- Entrenamiento de la VA en sus etapas iniciales.
- Su uso como referencia para mejorar todos los defectos e ineficiencias encontradas, con vistas al nuevo proyecto.

4.4. Diferencias entre ambos proyectos

Ya que en el apartado anterior se han descrito las principales aportaciones que ha supuesto el proyecto predecesor al que se va a detallar en el documento, es conveniente también ver que se ha matizado en este nuevo estudio ampliado:

- Modificación de las dimensiones de la cabina⁵, permitiendo que más personas puedan participar en las pruebas, dando más libertad para maniobrar con la silla de ruedas y el robot, y para poder distinguir más zonas dentro de la cabina.
- Se mejoran los algoritmos y precisión de detección de eventos anteriores. Además, se añaden los eventos de manipulación, detección de silla de ruedas y detección de robots.
- Se añaden más posiciones y variables a considerar dentro de cada una de las pruebas. También se aumentan las repeticiones por prueba y se contemplan diferentes situaciones lumínicas.

⁴ Fueron modificados casi en su totalidad para el nuevo proyecto, puesto que en comparación con el anterior se ampliaron los eventos a analizar, al igual que las distintas situaciones de ensayo de forma exponencial.

⁵ Se ha aumentado el tamaño de la cabina para que fuese lo más similar posible al estándar estadounidense $1.9 \times 2.55 \times 2.3 \text{ m}^3$

- Proposición de una solución comercial al final del proyecto, que resuma las conclusiones obtenidas durante la experimentación.

5. Origen y desarrollo histórico

El objetivo de este apartado es dar una visión general sobre la VA y la IA, en qué consisten, cómo se han ido desarrollando a lo largo del tiempo y algún ejemplo puntual de su utilización en la industria actual⁶. Ya que a lo largo de esta memoria se va a tratar con términos y aspectos muy ligados a estos dos conceptos.

5.1. Inteligencia Artificial (IA)

Usando de referencia la definición de la prestigiosa revista de divulgación científica *Lychnos*⁷ la IA es “Una de las ramas de la informática con fuertes raíces en otras áreas como la lógica y las ciencias cognitivas. A pesar del abundante número de definiciones para este término todas ellas tienen en común la necesidad de la validación del trabajo mediante la programación”[1].

La IA como tal surge en 1956 en Estados Unidos, gracias a una reunión llevada a cabo en Dartmouth por los principales investigadores de la época. La autoría del nombre Inteligencia Artificial se atribuye a J. McCarthy⁸[2].

La inteligencia artificial no deja de ser una propuesta constructiva de una “máquina” que se comporte de tal forma que sea idéntica a la manera de actuar de un ser humano, es decir, de forma inteligente.

Los cuatro pilares fundamentales de la IA son los siguientes:

- Actuar como lo harían las personas: El famoso Test de Turing (1950) está basado íntegramente en este punto, así como el robot conversacional Eliza.
- Deducir de forma similar a las personas: Lo más relevante a la hora de analizar una situación no es la conclusión obtenida, sino la calidad del razonamiento aplicado. Lo importante es imbuir a las máquinas mecanismos racionales similares a los humanos, este punto constituye una de las bases de la ciencia cognitiva.

⁶ Recordar que tanto la IA como la VA suponen 2 de los campos más relevantes dentro del concepto de la industria 4.0

⁷ Revista referente en lo que respecta a artículos de divulgación científica relacionados con tecnologías emergentes como la IA. [Revista de divulgación LYCHNOS](#)

⁸ John McCarthy fue un prominente Científico de la computación, matemático y profesor

- Aplicar razonamientos racionales: El razonamiento empleado por cualquier sistema ha de entrar en la categoría de racional. Las herramientas lógicas hacen posible la presentación formal de dichos razonamientos.
- Actuar de manera racional: Todo resultado obtenido va a ser estudiado desde la objetividad, independientemente de la estructura del programa o tareas a realizar.

La IA suele clasificarse en dos vertientes en función del propósito de su utilización, dentro del campo de la investigación.

- Inteligencia artificial fuerte: dentro de esta rama se presupone que los ordenadores pueden llegar a tener potencia suficiente como para disponer de una mente propia, junto con distintos estados mentales asociados, que permitirá emular la forma de razonar del cerebro humano. Dotaría al ordenador de capacidad de raciocinio propia.
- Inteligencia artificial débil: en este caso las entidades no pueden llegar a desarrollar actividades racionales por sí mismas, solo pueden simular que lo hacen. Los científicos que se inclinan por esta opción no creen posible la creación de sistemas con capacidad de consciencia, y que cualquier proceso cognitivo asociado a la IA no es más que parte de un programa en ejecución.

Los principales temas que se suelen relacionar con la inteligencia artificial son los siguientes:

- Búsqueda y resolución de problemas: Uno de los puntos fuertes de la IA es la versatilidad de la que dispone a la hora de resolver problemas de ámbitos muy dispares. Cabe destacar que para resolver cualquier tipo de problema con un algoritmo con IA, este primero habrá de formalizarse, siguiendo una serie de procedimientos y pautas generales.
- Sistemas representativos del conocimiento o basados en él: Lo más habitual es que gran parte de los programas que usen IA necesiten incorporar conocimiento específico del área en la que se desarrollan, con el objetivo de poder formalizarse los problemas.
- Aprendizaje automático: Con la intención de mejorar el rendimiento de determinadas aplicaciones o programas de IA, se pueden corregir los fallos cometidos durante la ejecución e incorporarlos al código. Se trata de un proceso de depuración y actualización continua.

- Inteligencia artificial distribuida: el avance de la tecnología ha permitido la actualización de la inteligencia artificial, y gracias a los ordenadores actuales es posible la ejecución de algoritmos de IA de forma distribuida. Cuestiones como la ejecución simultánea, la creación de multiprocesos o algoritmos que interaccionen entre sí mismos es más real y cercana que nunca.

Para finalizar con este apartado se adjuntan algunas de las aplicaciones más habituales dentro de este paradigma [3]:

- Aplicaciones relacionadas con juegos de mesa: Uno de los principales objetivos de la inteligencia artificial es demostrar que la inteligencia no es un atributo únicamente propio de los humanos, con este propósito se han creado cantidad de aplicaciones y funciones con la intención de derrotar incluso a los profesionales en su campo. Algunos ejemplos son las damas y el ajedrez, pero curiosamente para el juego del “go”⁹ no se ha podido desarrollar un algoritmo suficientemente optimizado como para vencer a los expertos.
- Aplicaciones en domótica y robótica: Dentro de esta rama se encuentran la exploración espacial, la automatización de procesos de manufacturación o industriales, las aplicaciones militares, o incluso la creación de casas inteligentes y autónomas. Dentro de este punto destacan los robots de exploración como el Curiosity, los robots bípedos o los robots industriales.
- Aplicaciones para vehículos inteligentes: La autonomía es primordial para estas aplicaciones, junto con la seguridad, ya que la mayor parte de estos vehículos transportarán pasajeros con ellos. Algunos ejemplos son los coches autónomos con el autopilot desarrollados por Tesla, el metro de la ciudad japonesa de Sendai o los vehículos aéreos no pilotados.

⁹ Juego similar a las damas cuyo objetivo es usar las piedras propias para formar un territorio en las casillas vacías del tablero. El tamaño del tablero de juego es de 19×19 líneas, esto junto con la cantidad de combinaciones de movimientos explica el por qué no ha sido conquistado por la IA aún

5.2. Visión Artificial (VA)

La visión artificial puede entenderse como un conjunto de procedimientos, técnicas y algoritmos que permiten la resolución de tareas de índole industrial de forma completa, con buena fiabilidad y de manera consistente [4].

Otra forma de interpretar la VA podría ser la siguiente: “La visión artificial, es una disciplina científica que incluye métodos para adquirir, procesar, analizar y comprender las imágenes del mundo real con el fin de producir información numérica o simbólica para que puedan ser tratados por un ordenador. Tal y como los humanos usamos nuestros ojos y cerebros para comprender el mundo que nos rodea, la visión artificial trata de producir el mismo efecto para que los ordenadores puedan percibir y comprender una imagen o secuencia de imágenes y actuar según convenga en una determinada situación. Esta comprensión se consigue gracias a distintos campos como la geometría, la estadística, la física y otras disciplinas. La adquisición de los datos se consigue por varios medios como secuencias de imágenes, vistas desde varias cámaras de video o datos multidimensionales desde un escáner médico” [5].

Tomando como referencia la Asociación de Imágenes Automatizadas¹⁰ (IAA), todas aquellas aplicaciones tanto industriales, como no industriales, que estén compuestas por una combinación de elementos de software y hardware y que proporcionen algún tipo de referencia a la hora de operar a ciertos dispositivos mediante la captura y el procesamiento de imágenes, pueden calificarse como soluciones con Visión Artificial. Aunque la VA industrial por ordenador reutilice bastantes algoritmos y funciones de aplicaciones militares y académico/educativas, cada una de ellas tiene limitaciones diferentes.

Los sistemas de Visión Artificial utilizados en la industria han de ser más robustos, tener mayor precisión y sensibilidad que los sistemas utilizados en ambientes académicos, por lo tanto, el coste de implementación es mayor. Sin embargo, si lo comparamos con el coste de creación de aplicaciones militares, este se reduce considerablemente. A modo de resumen, las aplicaciones industriales requieren unos costes de inversión medios, una precisión y sensibilidad bastante buenas, han de ser robustas, tener un grado de confianza elevado y tienen que ser capaz de soportar las condiciones de operación mecánicas y térmicas del ambiente dónde se sitúen.

¹⁰ Uno de los organismos más representativos en cuestiones relacionadas con IA

Generalmente los sistemas de Visión Artificial requieren de sensores digitales situados en el interior de cámaras, aptas para ambientes industriales, cuya función es la obtención de imágenes que, posteriormente, serán almacenadas, procesadas y estudiadas con el fin de elaborar un procedimiento formal de actuación, a través del software y hardware pertinentes.

A modo de ejemplo podemos utilizar un sistema de control del nivel de líquido de una cervecería, dentro de la cadena de fabricación cada una de las botellas de cerveza pasará por un sensor conectado a un sistema de visión, en el que se utiliza una luz estroboscópica¹¹ para captar una imagen nítida de la botella. Una vez hecho esto dicha imagen se almacena y pasará a ser procesada por el software de Visión Artificial, cuya función es básicamente determinar si el nivel de llenado coincide con los estándares predefinidos en el código fuente, tras lo cual emite una respuesta en forma de señal digital. Esta respuesta se usará con el fin de permitir el paso de aquellas unidades que hayan sido llenadas de forma satisfactoria, o para impedir el paso de las unidades defectuosas y que estas se desvíen a través del separador de la imagen.

Se adjunta un esquema de la aplicación descrita:

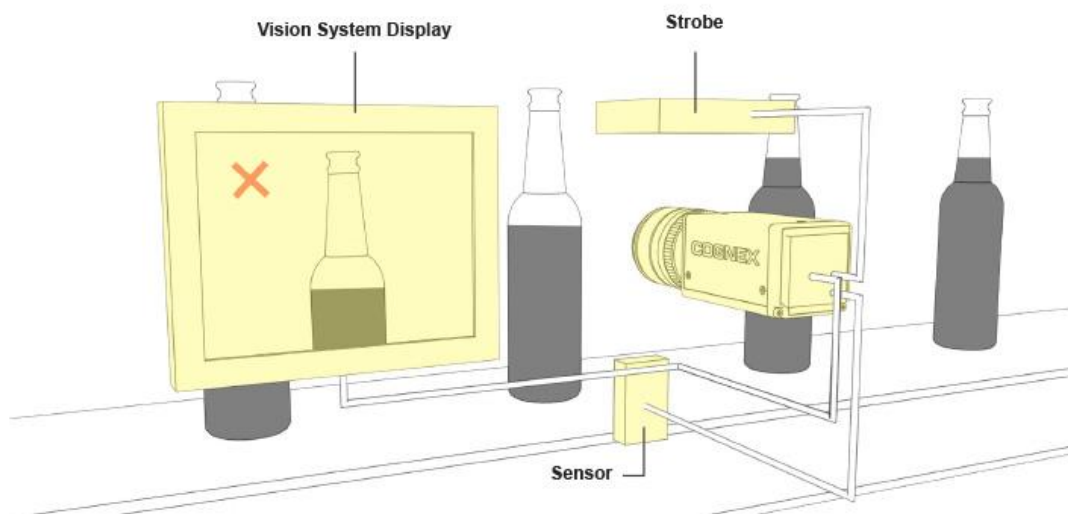


Figure 1. Bottle fill-level inspection example
 The fill-level inspection system in this example permits only two possible responses, which characterizes it as a binary system:
 1. Pass if the product is good
 2. Fail if the product is bad.

Figura 5.1: Ejemplo de sistema con VA integrada para el control de calidad de una cervecería

Otro de los atractivos que presentan los sistemas con Visión Artificial integrada es la posibilidad de proporcionar mediciones de piezas dentro de los procesos de fabricación. En la siguiente figura se adjunta un ejemplo de una aplicación de VA que permite

¹¹ Fuente luminosa que emite destellos en una sucesión rápida para captar objetos en movimiento

determinar si los filtros de aceite presentan algún fallo en sus dimensiones (parte derecha), y también permite la medición de ciertas partes de piezas fabricadas.

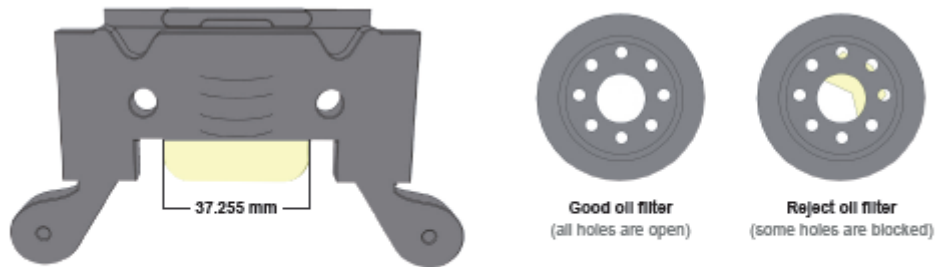


Figure 2.

Machine vision systems can process real-time measurements and inspections on the production line, such as a machined bracket (left) or oil filters (right).

Figura 5.2: Más ejemplos de uso industrial para la VA

6. Descripción y generalidades del proyecto

En este apartado se detallarán todos los aspectos relevantes relacionados con la ejecución del proyecto como: características del prototipo de cabina de ascensor empleada, situación y aspectos técnicos de las cámaras, plan de pruebas propuesto, definición de la metodología de ensayo... entre otros.

En primer lugar, hay que destacar que la totalidad de las pruebas realizadas se llevaron a cabo en el interior de la empresa thyssenkrupp Elevator Innovation Center S.A. de Gijón, en su parte de oficinas correspondiente a la Universidad Laboral.

Se adjunta una figura del área de trabajo dentro de las oficinas (el prototipo de cabina estaría situado al fondo de la imagen).



Figura 6.1: Situación de la cabina de pruebas

6.1. Equipamiento utilizado y situación de las cámaras

Como ya se introdujo en el apartado anterior la cabina que se ha utilizado como prototipo para la realización íntegra de los test, es un modelo de cabina de ascensor adaptada a los estándares estadounidenses de dimensiones, los cuales serían un largoxanchoxalto de $2.55 \times 1.9 \times 2.3 \text{ m}^3$.

Se optó por un planteamiento inicial con dos cámaras instaladas, cada una de ellas con su unidad de procesamiento y fuentes de alimentación respectivamente. La primera de las cámaras se sitúa en el interior de la cabina, en una de las esquinas, lo cual permitiría una visión diáfana del interior completo del ascensor. La segunda de ellas se sitúa fuera del ascensor, en uno de los bordes del techo, con la intención de captar toda la zona de acceso al propio ascensor, intentando que el ángulo de la cámara permita identificar y distinguir con facilidad los cuerpos enteros de los sujetos de pruebas, así como la utilización que se haga de la botonera para llamar al ascensor.

En cuanto al método de sujeción de las cámaras, se optó por colocarlas sobre los apoyos destinados a ejercer como techo del ascensor, de forma que están bastante próximas a la iluminación.

Para que las cámaras se mantuviesen estables en su posición se utilizaron soportes comerciales, que se pueden fijar a la estructura del ascensor mediante un atornillado, y además dan la posibilidad de girar las cámaras y cambiar su orientación, en caso de necesitar un enfoque distinto. Al final lo que se pretendió con estos soportes fue dotar a las cámaras del mayor “FOV”¹² posible, para que así la identificación de los sujetos y los eventos fuese más fluida y hubiese menos riesgo de error por oclusiones¹³.

A continuación, se adjunta una figura ilustrativa de dichos soportes comerciales:



Figura 6.2: Soporte comercial empleado

Las cámaras que se utilizaron en la instalación son [Intel® RealSense™ Depth Camera D435](#) [6], destacan por utilizar visión en estéreo a la hora de calcular profundidades. En particular el modelo D435, cuya conexión y alimentación es a través de un puerto USB,

¹² Field of View o campo de visión

¹³ Parte fundamental de la VA, ya que cuando se producen oclusiones, o lo que es lo mismo, la cámara deja de captar la totalidad de los sujetos, puede procesar la información de la que dispone de forma incorrecta dando lugar a errores o incluso falsos positivos

tiene integrados un par de sensores de profundidad, un sensor RGB y un proyector de infrarrojos. Todas estas características la hacen ideal para desarrolladores.

Aspecto de la cámara utilizada:



Figura 6.3: Cámara Intel® RealSense™ Depth Camera D435i

A continuación, se resumirán los principales aspectos de la cámara:

- Lleva integrado un algoritmo avanzado de cálculo de profundidad basado en el concepto de “Stereo Depth”¹⁴.
- Un potente procesador para la visión que usa 28 nm de tecnología de procesamiento y soporta 5 MIPI “Camera Serial Interface”¹⁵, para procesar en tiempo real profundidad de imágenes y acelerar las salidas.
- Un conjunto de sensores para ver diferencias entre las imágenes procesadas con una resolución máxima de 1280 × 720.
- Tiene soporte para el software multiplataforma libre de Intel® RealSense™ SDK 2.0.
- Procesador específico de color para ajustes sobre las imágenes y escalado de las salidas.
- Proyector infrarrojo que permite mejorar la percepción de objetos y da mayor fiabilidad a las profundidades estimadas.

¹⁴ Proceso de obtención de la profundidad por la comparación y superposición de las imágenes obtenidas desde varios objetivos

¹⁵ La interfaz gráfica más utilizada en el mercado actualmente tanto para móviles como para otros dispositivos

Tabla de características técnicas:

Use Environment	Indoor/Outdoor
Depth Technology	Active IR stereo
Main Intel® RealSense™ component	- Intel® RealSense™ Vision Processor D4 - Intel® RealSense™ module D430
Depth Field of View (FOV) (Horizontal × Vertical × Diagonal)	87°±3° x 58°±1° x 95°±3°
Depth Stream Output Resolution	Up to 1280 x 720
Depth Stream Output Frame Rate	Up to 90 fps
Minimum Depth Distance (Min-Z)	0.1 m
Sensor Shutter Type	Global Shutter
Maximum Range	Approx. 10 meters; Varies depending on calibration, scene, and lighting condition
RGB Sensor Resolution and Frame Rate	1920 x 1080 at 30 fps
RGB Sensor FOV(Horizontal x Vertical x Diagonal)	69.4° x 42.5° x 77° (+/- 3°)
Camera Dimension (Length x Depth x Height)	90 mm x 25 mm x 25 mm
Connectors	USB-C* 3.1 Gen 1
Mounting Mechanism	- One 1/4-20 UNC thread mounting point - Two M3 thread mounting points

Tabla 1: Especificaciones técnicas de las cámaras instaladas

Cada una de las cámaras instaladas lleva acoplada una unidad de procesamiento junto con la alimentación necesaria para su funcionamiento, todo ello se puede observar en la siguiente figura:

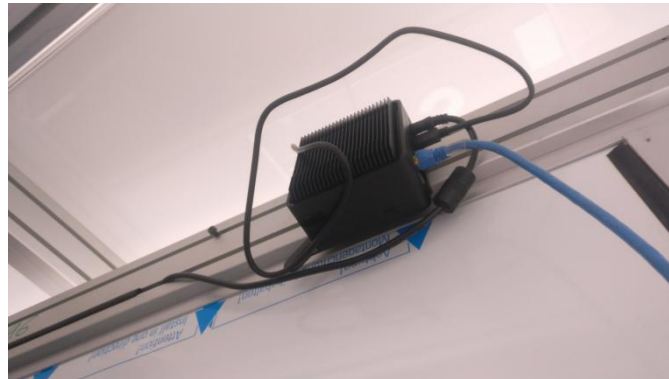


Figura 6.4: Unidad de procesamiento para las cámaras

El primero de los cables sería para alimentar el procesador integrado, el segundo de ellos iría conectado por USB a la cámara (que estaría al otro lado de la pared, no se puede ver en la figura adjuntada) y el último de ellos es un cable ethernet mediante el cual se puede acceder a la red local para poder realizar conexiones remotas a las cámaras.

El procesador escogido es un [UPS-EDGE-X70864-U01](#) [7].

Alguna información relevante relativa al procesador escogido es la siguiente:

SoC	Intel ATOM Quad-Core up to 2.0GHz x7-E3950
Graphic	Intel HD Graphic 500
System memory	8GB LPDDR4
Storage capacity	64GB eMMC
USB 3.0 port	x4 (one OTG)
Ethernet	2x GB Ethernet (full speed) RJ-45
Video output	HDMI+DP

Power input	5V DC-in at 6A 5.5/2.1mm jack
Operating temperature	0°C to +50°C

Tabla 2: Especificaciones técnicas procesador

Aspecto del procesador descrito:



Figura 6.5: Procesador acoplado a las cámaras

6.2. Infografías y esquemas relacionados con el montaje

Para finalizar con este apartado se añaden figuras ilustrativas del aspecto de la cabina, el montaje y acoplamiento final de las cámaras del interior y exterior de la cabina, y un esquema de la transmisión de información entre el procesador, la cámara y la red de ethernet.

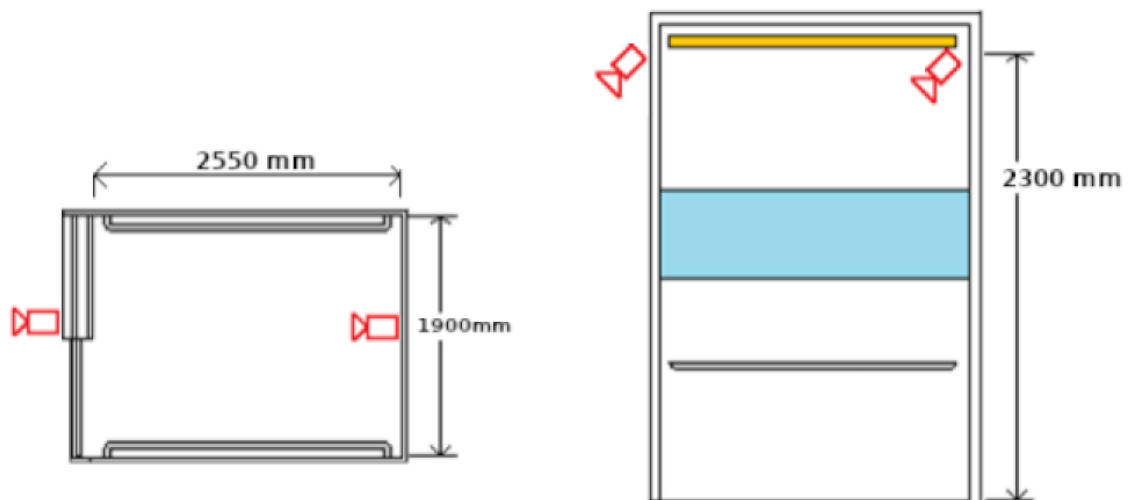


Figura 6.6: Vista en planta y lateral de la cabina incluyendo las cámaras instaladas

Posición y orientación de las cámaras para el interior y el exterior de la cabina:



Figura 6.7: Configuración de la cámara interior

No se aprecia la unidad de procesamiento al estar colocada detrás de la zona visible de la cabina.

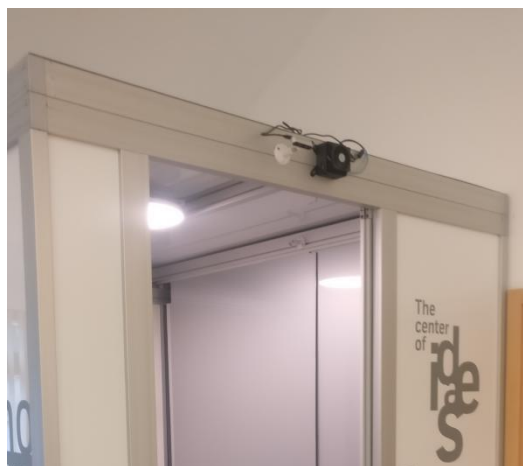


Figura 6.8: Configuración y unidad de procesamiento de la cámara exterior

Nota: Esta configuración se utilizó en las pruebas de calibración previas¹⁶, pero fue modificada, ya que se encontraron dificultades por parte de la VA a la hora de identificar la manipulación en la botonera, esto se debía, entre otros factores, al ángulo de caída con el que enfocaba a los sujetos de pruebas¹⁷.

¹⁶ Se comentarán en sucesivos apartados

¹⁷ No identificaba correctamente las articulaciones

Esquemas de la alimentación de los procesadores y la conexión por ethernet a la red:

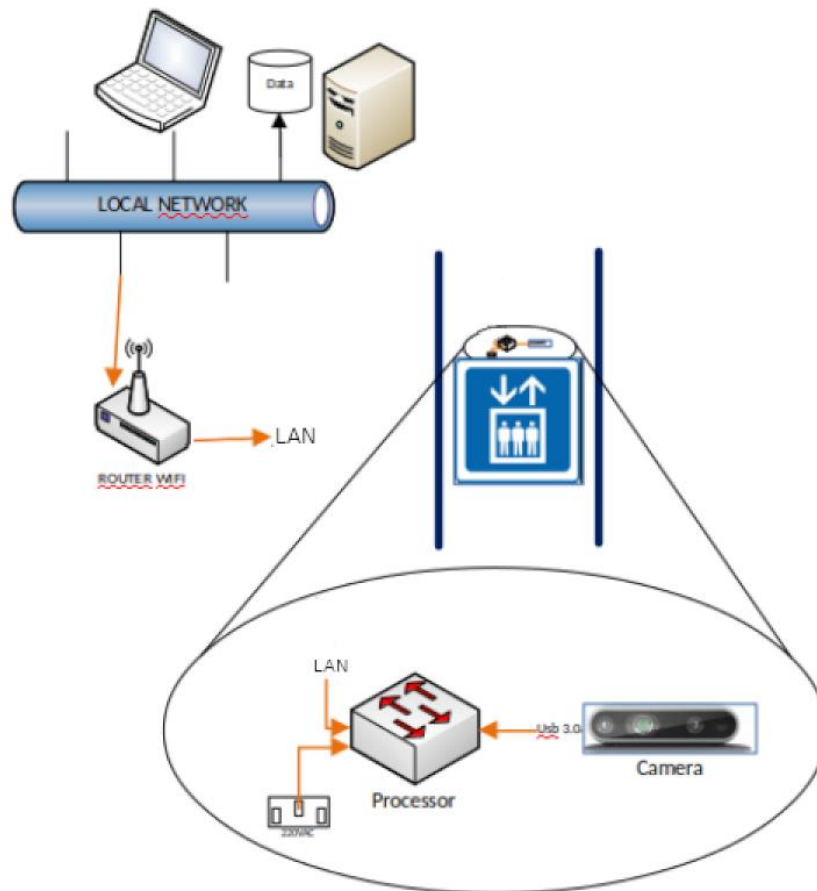


Figura 6.9: Comunicación red local/cámaras a través del procesador y el ethernet

7. Métricas

En este apartado se procede a describir cómo han de ser interpretados los diferentes eventos a analizar, en el caso particular de este trabajo los elementos a detectar mediante el sistema de VA se denominan eventos, dichos eventos suponen la detección o no detección de ciertos parámetros en las imágenes procesadas mediante los algoritmos de ejecución.

Las métricas de este apartado incluyen los siguientes conceptos, de uso habitual dentro del paradigma de la visión artificial y de la detección de eventos:

- Positive (P): Eventos “reales”¹⁸. $P = TP + FN$
- Negative (N): Eventos “no reales”¹⁹. $N = FP + TN$
- True Positive (TP): El valor de salida es positivo y verdadero. Un evento se ha producido verdaderamente y ha sido detectado satisfactoriamente por el algoritmo.
- False Negative (FN): El valor de salida es negativo pero falso. Hay un evento que se está produciendo realmente pero no es detectado por el sistema.
- Sensibilidad o True Positive Range (TPR): Constituye el ratio de detecciones satisfactorias de eventos, entre todos los casos existentes de detección de eventos, sean estos positivos o negativos. Esta es una de las métricas más relevantes para observar la capacidad que tiene el sistema de VA a la hora de tratar de detectar eventos, en caso de que sea baja nuestro sistema carecería de la fiabilidad suficiente para comercializarse y deberían realizarse ajustes tanto a los algoritmos (entrenamiento de las redes), como quizás modificar los parámetros de control o la posición de las cámaras²⁰.

$$TPR = \frac{TP}{P} = \frac{TP}{TP + FN}$$

- False Positive (FP): Cuando la salida del sistema es positiva, pero se trata de una falsa alarma. En este caso hay una detección de un evento que en realidad no se

¹⁸ Ya que incluye la detección de eventos cuando verdaderamente están sucediendo, así como la no detección de ellos cuando se dan

¹⁹ En este caso incluye la detección de eventos cuando estos no se dan, o la no detección cuando no se producen

²⁰ Se incidirá más adelante en este punto, ya que de forma previa a realizar los test definitivos se hicieron una serie de test iniciales para comprobar la precisión y sensibilidad de la instalación existente, y como se observará, fueron necesarias modificaciones

está produciendo, es uno de los casos más peligrosos a contemplar utilizando Visión Artificial, ya que es peor detectar eventos que no se producen a no detectar ningún evento directamente²¹.

- True Negative (TN): La salida obtenida es verdadera pero falsa. Esto quiere decir que el sistema no ha detectado satisfactoriamente la no presencia de eventos, ya que en realidad no había ninguno teniendo lugar. Generalmente este parámetro no suele ser problemático, salvo que haya algún tipo de error significativo en el código.
- Accuracy o Precisión: Está compuesta básicamente por el porcentaje de detecciones verdaderas y de no detecciones, con respecto al total de casos evaluados por el sistema. Permite dar una idea general de cómo de bueno es el algoritmo en lo que respecta a confianza.

$$ACC = \frac{TP + TN}{P + N}$$

- Specificity o Rango de Detecciones Verdaderas y Negativas: Se trata del porcentaje de no detección de eventos cuando no están sucediendo. Permite dar una idea de cómo de fiable es el algoritmo en lo que respecta a producirse falsos positivos.

$$SPC = \frac{TN}{N} = \frac{TN}{FP + TN}$$

- Precision o Predicción de Valores Positivos: Porcentaje de eventos reales de entre todos los eventos existentes. Permite ver cómo de preciso y fiable es el sistema cuando ha detectado un evento.

$$PPR = \frac{TP}{TP + FP}$$

- F1 score (media armonizada de la precisión y la sensibilidad):

$$F1 = \frac{2TP}{2TP + FP + FN}$$

- Cada una de estas métricas ha de ser calculada de manera independiente para cada uno de los eventos estudiado, sin tener en consideración resultados previos.
- Para cada uno de los eventos, cuando un evento real se produce, debe comprobarse, y, además, si se considera que ha habido detección deben definirse lo que se considera como verdadero y falso.

²¹ El sistema podría activar procedimientos de actuación impropios

Durante los test de Visión Artificial se procesan una media de 10 imágenes por segundo aproximadamente, así que para evitar la aparición de resultados no reales los eventos han de ser correctamente definidos.

En el caso de considerar cada imagen de forma separada como un evento, habría un mayor número de eventos negativos que de positivos, lo cual produciría que las métricas tengan porcentajes casi perfectos, pero en realidad no sabríamos exactamente cómo interpretar los resultados.

Por esto se ha decidido definir el concepto de evento de la siguiente forma:

- Si en un conjunto de imágenes aparece una persona o robot en el interior de la cabina, deberá estudiarse la detección o no detección del evento por parte del algoritmo, pero un único evento, ya sea verdadero o falso, será computado para las estadísticas.
- Un conjunto de imágenes en el que no hay persona o robot en el interior de la cabina, pero en el que el sistema detecta la existencia de un evento será considerado un fallo de detección, y, por tanto, computará como un falso positivo.
- En cuanto a los eventos reales pero negativos, deberán añadirse en las configuraciones iniciales de los algoritmos, para buscar un equilibrio entre los eventos positivos y negativos²². El número de eventos reales negativos vendría definido por el número promedio de viajes en un ascensor particular por los reales negativos por hora.

²² En el caso de este proyecto no fue necesario añadirlos, al disponer de unos algoritmos fiables y precisos a la hora de no detectar eventos falsos positivos

8. Procedimiento para realización de las pruebas

El propósito de la realización de las pruebas es comprobar que los eventos (manipulación, silla de ruedas y robots) se están produciendo o no produciendo, en el interior o el exterior (hall) de la cabina del ascensor. Cada uno de ellos deberá ser reproducido 10 veces, para tener una idea más general de la información obtenida. El número de réplicas podría ser modificado en función de la precisión del sistema.

Los test se han dividido en función del evento a simular y se repiten el número necesario de veces, con el número de personas requerido, tanto en el interior como en el exterior del ascensor. En función de los resultados se podría modificar el ángulo de la cámara, o incluso su posición, para mejorar las métricas.

8.1. Características de la iluminación

Este apartado se utiliza para explicar el procedimiento de medición de las condiciones lumínicas bajo las que se realizaron las pruebas. Como ya se introdujo con anterioridad únicamente se van a realizar pruebas con el máximo de iluminación, y con el umbral mínimo que permita detectar eventos.

El luxómetro empleado para medir la iluminación en el interior de la cabina²³ fue el “Mavolux 5032 C” [8].



Figura 8.1 Luxómetro “Mavolux 5032 C”

²³ Ya que en el exterior se presupone que haya luz ambiente, no se hicieron mediciones

Dispone de una pantalla digital y un diodo fotosensible, que deberá ser orientado hacia la fuente de la iluminación, en este caso las luces led instaladas en el interior de la cabina simulada. Se procedió a registrar los valores en las esquinas y centro de la cabina, una vez se estabilizaron y se promediaron (todo ello se hizo con las puertas cerradas, para evitar la influencia de la luz exterior en las mediciones). Tanto para la situación de máxima como para la de mínima iluminación.

Los valores obtenidos son los siguientes (en luxes):

- Buena iluminación: 1090 lx.
- Peor iluminación²⁴: 25 lx.
- Umbral de detección eventos: 223 lx.

²⁴ Cabina completamente a oscuras y con puerta cerrada

9. Introducción de los eventos y explicación de los algoritmos que intervienen

En este apartado se detallarán los tres principales eventos de los que se compone este trabajo²⁵, es decir, se analizará la importancia que conlleva el análisis de cada uno de ellos de forma general, así como para el mundo del transporte de pasajeros en ascensores, se presentarán los parámetros más importantes a tener en consideración desde el punto de vista de la IA y la VA para cada uno de ellos, se estudiará el funcionamiento de los algoritmos que intervienen de forma breve y, por último, se revelarán las posibles dificultades que se pueden encontrar en cada una de las pruebas.

Como para entender los resultados obtenidos, y ya que en algunas de las pruebas realizadas influyen parámetros “secundarios”, como puede ser la detección de presencia humana en el ascensor (ocupación), o la posibilidad de que haya falsos positivos a la hora de detectar caídas en el interior del ascensor, se ha decidido añadir la descripción funcional de estos dos eventos en este apartado.

9.1. Introducción

El objetivo que se persigue a la hora de analizar estos eventos es verificar la fiabilidad del sistema de VA instalado a la hora de detectar manipulación, sillas de ruedas, presencia de robots, la ocupación en el ascensor y las caídas. Es fundamental la utilización conjunta de la información post procesada proporcionada por la VA, junto con el conocimiento de las inspecciones visuales de seguridad²⁶[9].

Es de suma importancia la detección, de forma eficaz y eficiente, de todos los eventos anteriormente mencionados, pero en especial de las caídas en ascensores. Este evento en particular conlleva un enorme impacto desde el punto de vista de la seguridad de los

²⁵ Siendo estos la manipulación de las cabinas, la detección de presencia de sillas de ruedas y la detección de robots. Como ya se introdujo en los apartados **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

²⁶ Traducido de la metodología de trabajo “*Visual Safety*” que consiste en el análisis de entornos laborales mediante el procesado de grabaciones e imágenes, para determinar situaciones de riesgo y contemplar posibles planes de contingencia. Todo ello de acuerdo con el marco legal contemplado en la Ley Orgánica de Protección de Datos

usuarios y la prevención de los riesgos laborales, paradigma cada vez más relevante para las empresas.

El caso más desfavorable sería que una persona anciana o con movilidad reducida viaje sola en el ascensor y se caiga, en este caso no podría solicitar auxilio ni ser ayudado hasta ser encontrada por otra persona que vaya a usar el ascensor posteriormente. Por ello se hace hincapié en la utilización de herramientas, como la propuesta, para la detección automática de estos accidentes, y que permitan llevar a acciones de socorro con respuesta inmediata.

10. Pruebas iniciales

A diferencia de las pruebas finales, que se detallarán y analizarán en apartados posteriores, este primer set de pruebas se llevó a cabo bajo las premisas expuestas en el punto 8 [13]²⁷, pero con las siguientes peculiaridades y objetivos:

- El primer objetivo de este conjunto de pruebas era obtener una primera aproximación de la sensibilidad y precisión del algoritmo implementado en el sistema. Para posteriormente analizar posibilidades de mejora o modificar los parámetros de control en caso de que fuese necesario.
- Para que la realización de estas pruebas fuese más eficaz, se decidió hacer una única repetición por evento y posición del sujeto, en lugar de las 10 expuestas anteriormente.
- En lugar de considerar los dos escenarios contemplados para las condiciones de iluminación²⁸, se simplificaron las pruebas considerando únicamente la situación más favorable, con una iluminación máxima medida con luxómetro de 1090 lx.
- Se descartan aquellas pruebas en las que intervengan más de 3 sujetos, para acelerar su realización y posterior procesado.
- Como el sistema presenta una fiabilidad suficiente frente a falsos positivos, se decidió no realizar test específicos para intentar provocar, intencionalmente, la detección de estos.
- Debido a la complejidad que conlleva la detección de la pose de los sujetos, en los eventos de detección de manipulación de la cabina, se realizaron dos rondas completas de estos, a diferencia de los eventos de detección de silla de ruedas y robots.
- En este set inicial de test se descartan las pruebas a realizar en el hall del ascensor.

En los siguientes apartados se adjuntarán las tablas resumen, así como las observaciones que se consideren relevantes, que son el resultado del post-procesado de las pruebas realizadas, separándose por evento.

²⁷ Los conceptos de “*Visual Safety*” tienen un peso elevado en las consideraciones a la hora de realizar, procesar y analizar los resultados de las pruebas

²⁸ Uno con la máxima iluminación posible y el otro con la mínima que permitiese la detección de presencia y pose

10.1. Resumen de siglas

Como a partir del siguiente apartado se comenzarán a analizar las pruebas realizadas, así como a explicar las conclusiones obtenidas, es necesario explicar las siglas utilizadas para referirse a los distintos tipos de categorías dentro de cada evento.

Eventos de manipulación:

- M_1_FB_L: La primera sigla corresponde al evento M Manipulación, R Robot y W de Wheelchair (silla de ruedas). La segunda al número de personas que intervienen. La tercera FB sería que manipulan el primer botón, MB el botón central y LB el último botón de la botonera. La última sigla hace referencia a la mano usada para manipular, siendo L izquierda y R derecha.
- M_1_MB_L_2B: Esta abreviatura significaría que hay una manipulación con una persona accediendo al botón del medio, utilizando su mano derecha. La última sigla se refiere a la posición del resto de sujetos, siendo F Frente, B el fondo, C el centro, R la derecha y L la izquierda. Por tanto, habría dos personas adicionales al fondo de la cabina.

Eventos de silla de ruedas:

- W_1CS: Las siglas son similares a las anteriores, la diferencia es que la última hace referencia a si se entra de frente S, o de espaldas B.
- W_1C_1P_2B: 1 persona en silla de ruedas, otra empuja la silla de ruedas y las dos restantes al fondo de la cabina.

Eventos robot:

- R_1B: 1 robot situado en la parte trasera de la cabina.
- R_1C_2R: 1 robot centrado y dos personas situadas a la derecha de la cabina.

11. Planificación

Se ha realizado un estudio de las tareas a realizar a lo largo de este proyecto con la herramienta Microsoft Project, se han estimado posibles duraciones de dichas tareas, así como retrasos y holguras entre procesos.

A continuación, se adjunta la clasificación, tipo de relación con otras tareas y duración estimada para las diferentes actividades llevadas a cabo en este proyecto.

EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	Tareas del TFM	124,25 días	lun 17/02/20	vie 07/08/20	
1.1	Inicio prácticas	4,38 días	lun 17/02/20	vie 21/02/20	
1.1.1	Introducción contenidos	2 días	lun 17/02/20	mar 18/02/20	
1.1.2	Definición objetivos	3 horas	mié 19/02/20	mié 19/02/20	3
1.1.3	Descripción zona trabajo	3 horas	mié 19/02/20	mié 19/02/20	4CC
1.1.4	Revisión documentación VA	1 día	mié 19/02/20	jue 20/02/20	5
1.1.5	Estudio de las métricas relacionadas con el proyecto	1 día	jue 20/02/20	vie 21/02/20	6FF+1 día
1.2	Estudio de condiciones	1,75 días	mié 26/02/20	vie 28/02/20	
1.2.1	Revisión y adaptación del proyecto anterior	5 horas	mié 26/02/20	mié 26/02/20	7
1.2.2	Adaptación cámara	4 horas	jue 27/02/20	jue 27/02/20	9
1.2.3	Estudio inclinación cámara	2 horas	jue 27/02/20	vie 28/02/20	10
1.2.4	Introducción algoritmos	2 horas	jue 27/02/20	vie 28/02/20	11FF
1.3	Pruebas iniciales	2,63 días	lun 02/03/20	mié 04/03/20	
1.3.1	Elaboración de un plan de pruebas	4 horas	lun 02/03/20	lun 02/03/20	12FC+1 día
1.3.2	Ensayos iniciales	4 horas	mar 03/03/20	mar 03/03/20	14
1.3.3	Creación hojas de Excel para post procesado	1,5 horas	mar 03/03/20	mar 03/03/20	15CC
1.3.4	Post procesado pruebas	1 hora	mié 04/03/20	mié 04/03/20	15

1.3.5	Mejora algoritmos	4 horas	mié 04/03/20	mié 04/03/20	17
1.4	Pruebas finales	74 días	jue 05/03/20	mié 17/06/20	
1.4.1	Creación hojas de Excel para post procesado final	2 horas	jue 05/03/20	jue 05/03/20	18
1.4.2	Pruebas interiores	6,31 días	jue 05/03/20	vie 13/03/20	
1.4.2.1	Manipulación	2 días	jue 05/03/20	lun 09/03/20	20
1.4.2.2	Silla de ruedas	1 día	mié 11/03/20	jue 12/03/20	22FC+1 hora
1.4.2.3	Robots	0,94 días	jue 12/03/20	vie 13/03/20	
1.4.2.3.1	Detección fallo identificación	1 hora	jue 12/03/20	jue 12/03/20	23FC+1 hora
1.4.2.3.2	Entrenamiento	2 horas	jue 12/03/20	vie 13/03/20	25FC+30 mins
1.4.2.3.3	Realización pruebas	4 horas	vie 13/03/20	vie 13/03/20	26
1.4.2.4	Post procesado interior	1 hora	vie 13/03/20	vie 13/03/20	27
1.4.3	Retraso COVID19	61 días	vie 13/03/20	lun 08/06/20	28
1.4.4	Finalización pruebas interiores	2 días	lun 08/06/20	mié 10/06/20	29
1.4.5	Pruebas exteriores	6,44 días	lun 08/06/20	mié 17/06/20	
1.4.5.1	Creación Excel exterior	3 horas	lun 08/06/20	mar 09/06/20	29
1.4.5.2	Manipulación	2,5 días	mar 09/06/20	jue 11/06/20	32FC+1 hora
1.4.5.3	Silla de ruedas	2 días	jue 11/06/20	lun 15/06/20	33FC+1 hora
1.4.5.4	Robots	1 día	mar 16/06/20	mar 16/06/20	34FC+30 mins
1.4.5.5	Post procesado exterior	2 horas	mié 17/06/20	mié 17/06/20	35
1.5	Elaboración TFM	37 días	mié 17/06/20	vie 07/08/20	
1.5.1	Investigación y documentación para TFM	2 días	mié 17/06/20	vie 19/06/20	36
1.5.2	Redacción TFM	6 sem.	jue 18/06/20	jue 30/07/20	38CC+1 día
1.5.3	Elaboración informes/conclusiones	3 días	jue 30/07/20	mar 04/08/20	39
1.5.4	Elaboración presentación	3 días	mar 04/08/20	vie 07/08/20	40

Tabla 3: EDT para la planificación

12.Presupuesto

Se ha decidido añadir de forma orientativa un presupuesto aproximado para la instalación y mantenimiento del sistema expuesto, a lo largo de un horizonte temporal de un año.

Se ha optado por incluir el precio de un entorno de programación, compilación y ejecución de los algoritmos de forma preventiva. El escogido es Qt creator [14], un entorno de desarrollo integrado multiplataforma, muy conocido para programar con el lenguaje C++.

En cuanto al mantenimiento se han puesto dos revisiones de mantenimiento preventivo en el año, para recalibración y comprobación del estado del sistema.

Concepto	Cantidad	Precio
Cámara Intel Realsense	2	328,42 €
Unidad de procesamiento	2	795,60 €
Soportes	2	5,00 €
Conexión a red	1	30,00 €
Cableado	1	20,00 €
Tareas de montaje/calibración	1	500,00 €
Licencia anual Qt creator	1	1.800,00 €
Tareas mantenimiento	3	600,00 €
Trabajo R&D	1	5.000,00 €
TOTAL		9.079,02 €

Tabla 4: Presupuesto aproximado

13. Conclusiones

A lo largo de este trabajo se han descrito los aspectos más importantes relativos a IA y VA. Se ha introducido el objetivo perseguido, detallado y descrito el entorno de pruebas, así como el equipamiento utilizado. Se ha profundizado en las métricas para validar el sistema instalado. Se han adjuntado listas con el conjunto de eventos y pruebas a analizar. Se han descrito y explicado los eventos a estudiar, junto con los algoritmos que se ejecutan. Y, por último, se han analizado los resultados obtenidos destacando posibles mejoras y alternativas.

Los principales retos a la hora de estudiar e implantar un sistema de estas características son: el tipo de cámara a utilizar (ha de tener unas especificaciones adecuadas), la unidad de procesamiento (ha de ser suficientemente rápida), el campo de visión de la cámara, la iluminación disponible y la posibilidad de que exista oclusión

En cuanto a las pruebas realizadas se puede garantizar una confianza bastante elevada, incluso en las condiciones más desfavorables (apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El evento más problemático es el de manipulación, por la cantidad de variables que intervienen y que a la hora de manipular la posición de los brazos de la persona nunca es la misma (es complejo identificar un patrón similar para todas las personas).

Como sugerencias de mejora se pueden reseñar las siguientes:

1. En el interior de la cabina instalar una cámara adicional enfrentada a la original eliminaría gran parte de los problemas de oclusión. El problema sería que para realizar todas las operaciones de filtrado y segmentación se requeriría la unión de los puntos clave y el 3D de ambas, para crear una visión panorámica 3D. Esto requeriría bastante potencia de procesamiento y repercutiría en la fluidez del sistema.
2. La utilización de una cámara con un campo de visión superior en el modo RGB permitiría aumentar la precisión del sistema con malas condiciones de iluminación.
3. Usar una unidad de procesamiento con un procesador más rápido y ampliar la memoria RAM. Esto permitiría mayor fluidez de procesamiento y el tratamiento de mayor cantidad de información más eficazmente.

4. Retocar los parámetros de las redes neuronales para afinar su precisión, o conseguir un método de entrenamiento iterativo, para que se refinan automáticamente tras cada conjunto de pruebas. Permitiría un entorno de mejora continua.
5. Combinar el sistema de VA con sensores u otros elementos que faciliten la identificación de ciertos eventos. Sensores de presión (para ver distribuciones de la ocupación y comparar con los resultados del algoritmo), sensores de la botonera (para cerciorarse de que haya manipulación antes de dar una alarma), entre otros.
6. Añadir una cámara adicional en el exterior para complementar los posibles puntos muertos de la inicial. Similar a lo expuesto en el primer punto.

Los sistemas de visión e inteligencia artificial están todavía en proceso de desarrollo, pero al haber llevado a cabo la labor de investigación y el análisis de los resultados obtenidos, se puede asegurar que su implantación en el ámbito comercial e industrial es perfectamente viable. No cabe duda de que en unos años el paradigma de la industria 4.0 va a beneficiarse de todas estas innovaciones.

Se debe continuar mejorando los parámetros del sistema y procurar reducir los costes de inversión iniciales, ya que es el aspecto que más puede afectar a PYMES que se estén planteando integrar variantes en sus negocios.

14. Agradecimientos

La realización de este TFM no hubiese sido posible sin la participación y ayuda de las siguientes personas:

- El equipo y compañeros de trabajo de thyssenkrupp Elevator Innovation Center de Gijón, siempre ofreciendo ayuda y siendo voluntarios para muchas pruebas grupales.
- Mi compañero de prácticas Eduardo Zarauza González
- Mi tutor académico Rafael Rosillo Cambor, por el apoyo, consejos y ayuda a la hora de revisar este documento.
- Mi tutor Marcos Pérez y Alejandro Granda, por estar siempre disponibles, y resolver las dudas que se plantearon a lo largo de la realización de este proyecto

15. Bibliografía

- [1] “La inteligencia artificial.”
http://www.fgcsic.es/lychnos/es_es/articulos/inteligencia_artificial (accessed Apr. 16, 2020).
- [2] “Inteligencia Artificial – Qué es y por qué es importante.”
https://www.sas.com/es_es/insights/analytics/what-is-artificial-intelligence.html (accessed Apr. 16, 2020).
- [3] “Inteligencia artificial: Novedades - Xataka.”
<https://www.xataka.com/tag/inteligencia-artificial> (accessed Apr. 16, 2020).
- [4] “Qué es la visión artificial | Cognex.” <https://www.cognex.com/es-es/what-is/machine-vision/what-is-machine-vision> (accessed Apr. 16, 2020).
- [5] “Visión artificial,” *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Jul. 28, 2020, Accessed: Aug. 05, 2020. [Online]. Available:
https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Visi%C3%B3n_artificial&oldid=128087011.
- [6] “Intel® RealSense™ Depth Camera D435.” <https://store.intelrealsense.com/buy-intel-realsense-depth-camera-d435.html> (accessed Apr. 17, 2020).
- [7] “UPS-EDGE-X70864-U01 AAeon UP | Mouser,” *Mouser Electronics*.
<https://www.mouser.es/ProductDetail/409-UPSEDEX70864U01> (accessed Apr. 17, 2020).
- [8] “Luxómetro MAVOLUX 5032C/B.” <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-radiacion/luxometro-mavolux.htm> (accessed Apr. 20, 2020).
- [9] “Visual Safety, contenidos audiovisuales en Seguridad Laboral y Procedimientos de Trabajo,” *VisualSafety*. <http://visualsecurity.es/> (accessed May 11, 2020).
- [10] “El filtro de Kalman * Quantdare,” *Quantdare*, Mar. 28, 2014.
<https://quantdare.com/filtro-kalman/> (accessed May 12, 2020).
- [11] S. Saha, “A Comprehensive Guide to Convolutional Neural Networks — the ELI5 way,” *Medium*, Dec. 17, 2018. <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53> (accessed May 13, 2020).
- [12] “Relay_User_Manual.pdf.” Accessed: May 14, 2020. [Online]. Available:
https://static1.squarespace.com/static/53c76fe9e4b029b1ad4a55b6/t/58a382a1cd0f68dbee92774/1487111033430/Relay_User_Manual.pdf.
- [13] “UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf.” Accessed: May 20, 2020. [Online]. Available: http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf.
- [14] “Qt Creator/es - Qt Wiki.” https://wiki.qt.io/Qt_Creator/es (accessed May 25, 2020).

16. Anexos

16.1. ANEXO I: Esquema planificación MS Project

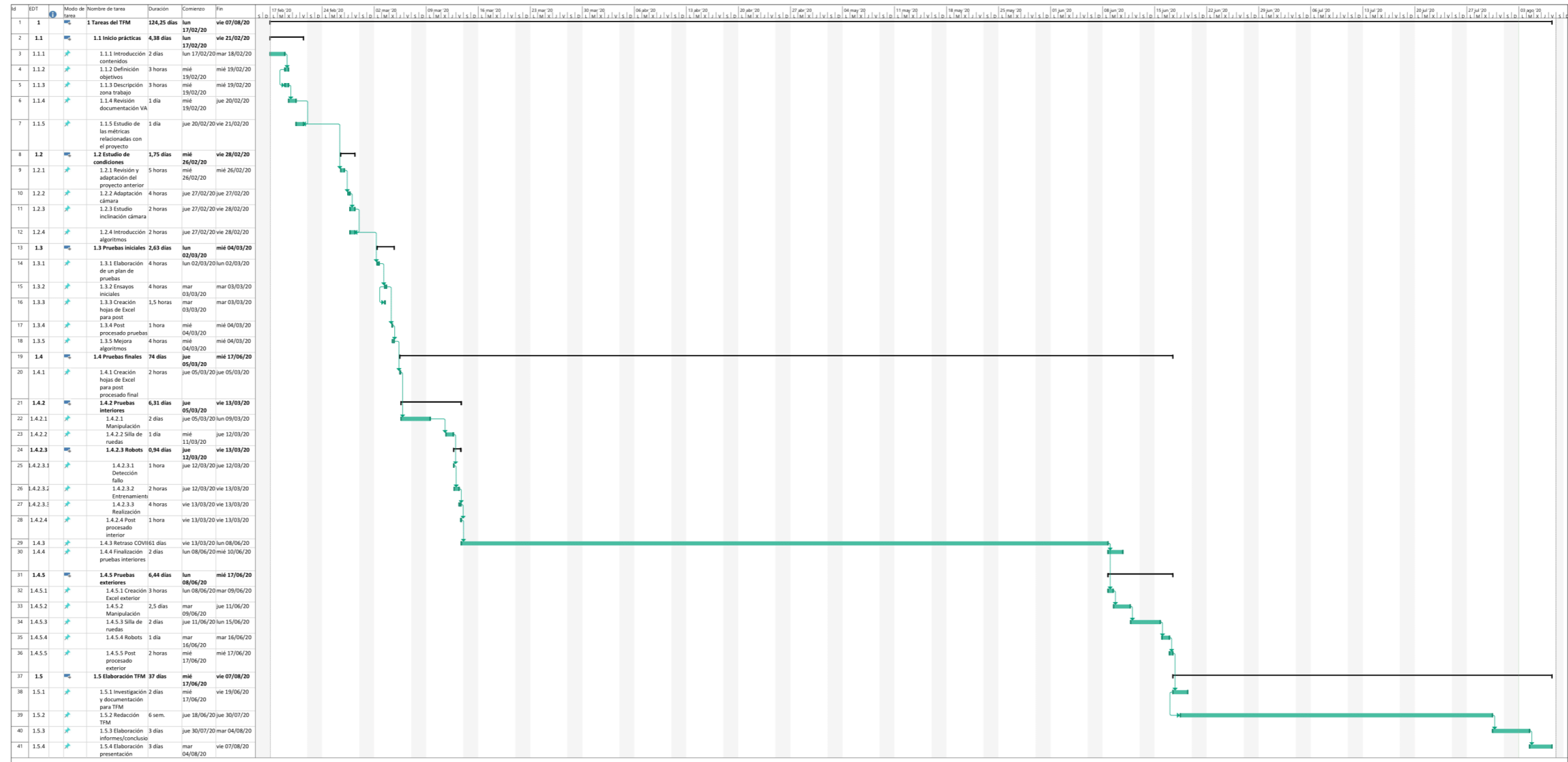


Figura 16.1: Esquema Microsoft Project

16.2. ANEXO II: Estadísticas de la planificación del proyecto

Estadísticas del proyecto 'EDT_TFM.mpp' ✕			
	Comienzo		Fin
Actual	lun 17/02/20		vie 07/08/20
Previsto	NOD		NOD
Real	NOD		NOD
Variación	0d		0d
	Duración	Trabajo	Costo
Actual	124,25d	0h	0,00 €
Previsto	0d	0h	0,00 €
Real	0d	0h	0,00 €
Restante	124,25d	0h	0,00 €
Porcentaje completado:			
Duración: 0%		Trabajo: 0%	
			Cerrar

Figura 16.2: Estadísticas planificación para el proyecto