



Universidad  
Zaragoza



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

Visitas virtuales aplicadas a la docencia y formación  
laboral en el ámbito de la ingeniería

*Virtual tours applied to teaching and labour training in  
the field of engineering*

Autor/es

Guillermo Giménez Rota

Director/es

José Luis Bernal Agustín

Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Zaragoza

Diciembre 2019

# **Visitas virtuales aplicadas a la docencia y formación laboral en el ámbito de la ingeniería.**

## **Resumen**

En el presente trabajo se ha tratado de obtener una alternativa a las visitas a empresas e instalaciones industriales, al haber aumentado la dificultad de acceso a las mismas tanto para estudiantes como para trabajadores en formación. Para ello, se ha propuesto y estudiado el uso de la realidad virtual.

En primer lugar, se ha realizado un análisis de necesidad donde se han recogido los motivos que dificultan las visitas reales, las consecuencias y, mediante un cuestionario, la opinión de algunos alumnos. Además, se han comparado varias tecnologías para comprobar que la realidad virtual es la que mejor satisface las necesidades extraídas.

A continuación, se ha estudiado el desarrollo, aplicaciones principales y fundamentos de la realidad virtual, para comprender esta técnica y poder aplicarla a las visitas virtuales. Con esta información, se ha consultado el equipo necesario, comparado las distintas alternativas que ofrece el mercado y adquirido el más conveniente según los requerimientos esenciales.

Con el fin de demostrar la aplicación real, se han realizado dos visitas virtuales a instalaciones de interés, recogiendo durante todo el proceso los distintos pasos a seguir. Al analizar el resultado de la primera visita, se han observado algunas incidencias, cuya solución ha requerido modificar algunos detalles de la fase más compleja. Con la información actualizada y corregida, se ha redactado una metodología detallada, de forma que otros puedan repetir el proceso en futuras ocasiones.

La conclusión fundamental extraída en este trabajo ha sido que la realidad virtual, aplicada a las visitas virtuales en instalaciones industriales, permite mejorar la calidad de la docencia y dotar de alternativas en la formación de trabajadores.

## **Palabras clave:**

Realidad virtual, visitas virtuales, visitas a empresas, Industria 4.0.

# Índice

<b>1. Introducción .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Objetivos generales del trabajo.....</b>	<b>7</b>
<b>3. Necesidad concreta y alternativas.....</b>	<b>8</b>
3.1. Análisis de la necesidad.....	8
3.2. Tecnologías alternativas existentes .....	11
<b>4. La realidad virtual: historia y evolución.....</b>	<b>14</b>
<b>5. Fundamentos teóricos.....</b>	<b>16</b>
5.1. Realidad virtual .....	16
5.2. Fotografía panorámica .....	17
5.3. Fotografía 360 .....	17
5.4. Visita virtual .....	18
<b>7. Equipo necesario: hardware y software .....</b>	<b>19</b>
<b>7.1. Equipo y herramientas físicas.....</b>	<b>19</b>
7.1.1. Captación de imágenes .....	19
7.1.2. Objetivos o lentes .....	22
7.1.3. Soporte del equipo.....	23
7.1.4. Movimiento y orientación del equipo.....	24
<b>7.2. Software.....</b>	<b>25</b>
7.2.1. Editor de fotografías en lote.....	25
7.2.2. Software de unión de panorámicas .....	26
7.2.3. Software de creación de la visita virtual .....	26
<b>7.3. Listado del equipo seleccionado y presupuesto final .....</b>	<b>27</b>
<b>8. Metodología para crear una visita virtual .....</b>	<b>28</b>
<b>8.1. Captación de imágenes .....</b>	<b>28</b>
8.1.1. Planificación.....	28
8.1.2. Preparación del equipo .....	28
8.1.3. Disparo de las fotografías.....	30
<b>8.2 Corrección y tratamiento de las imágenes .....</b>	<b>31</b>
8.2.1 Edición básica inicial.....	31
8.2.2. Cómo conformar las panorámicas .....	32
8.2.3. Ajustes finales de edición.....	33

8.3. Creación de la visita virtual .....	33
9. Resultados .....	35
10. Posibles mejoras.....	36
10.1. El equipo .....	36
10.2. La metodología:.....	37
11. Desarrollo futuro .....	38
12. Conclusiones.....	39
13. Bibliografía .....	41
Anexo I: Resultados del cuestionario .....	48
Anexo II: Comparativa de equipos .....	50
Equipos de captación de imagen.....	50
Objetivos súper angular u ojo de pez .....	51
Rótulas panorámicas.....	51
Anexo III: Cómo montar la rótula panorámica .....	52
Anexo IV: Cómo encontrar la pupila de entrada .....	53
Anexo V: la apertura y la distancia de enfoque hiperfocal .....	56
Anexo VI: Determinar la exposición media .....	57
Anexo VII. Orden e instrucciones para la captura de las imágenes .....	58
Anexo VIII. Instrucciones de uso de <i>Darktable</i> : edición básica.....	60
Anexo IX. Hugin: conformar las panorámicas.....	62
Anexo X. Lapentor: creación y publicación de la visita .....	68
Anexo XI. Resultados finales de la instalación 1.....	70
Anexo XII. Resultados finales de la instalación 2.....	73

## **1. INTRODUCCIÓN**

La incorporación de la realidad virtual a la docencia y a la formación laboral es un recurso todavía pendiente de un estudio detallado y que ofrece grandes oportunidades al campo de la ingeniería. El propósito principal de este trabajo ha sido el ofrecer una solución factible y satisfactoria ante la incapacidad de realizar visitas reales a empresas y entornos industriales. Las necesidades a las que hacer frente, por tanto, son todas aquellas requeridas por alumnos de grados técnicos y empresas, cuyas instalaciones sean de difícil acceso. Por ello, son también los principales beneficiarios de los resultados aquí extraídos, así como los colectivos a tener en cuenta y con los que colaborar.

En las fases preliminares de este estudio, se ha realizado un análisis de necesidad detallado, donde se recoge la problemática actual que ha motivado este trabajo y los principales perjudicados por ella. Para comprobar el nivel de aceptación de la tecnología propuesta como solución, se ha llevado a cabo un cuestionario a estudiantes de ingeniería y se ha consultado con una empresa del sector eléctrico. La información extraída ha servido para demostrar la necesidad real. Además, se ha realizado una comparativa con otras técnicas aplicables, con el fin de comprobar que es la mejor alternativa y contemplar las debilidades de la realidad virtual para trabajar sobre ellas.

A continuación, se ha investigado sobre esta tecnología, mostrando las bases que han marcado su desarrollo, abordando los conceptos teóricos clave para la comprensión del trabajo y extrayendo información sobre qué tipo herramientas son necesarias, en concreto, para diseñar y crear una visita virtual. Con esta información, se han comparado las distintas opciones y se han seleccionado las herramientas más apropiadas en base a los requerimientos y condiciones de uso.

Finalmente, se ha trasladado todo el estudio teórico a una aplicación real, con utilidad en sí misma, que pruebe el alcance y capacidad de las visitas virtuales. Para ello, se ha adquirido el material seleccionado y se ha experimentado con él, hasta extraer una forma de proceder adecuada. Una vez conocido el equipo, se ha trabajado con él en un entorno de interés, procesado la información gráfica obtenida y obtenido una visita virtual completa. Durante esta práctica, se han recogido todos los detalles sobre la elaboración de las visitas, clasificándolos en varias fases, y se ha aglutinado la información en esta memoria, conformando una metodología para poder reproducir este trabajo en un futuro.

La última etapa que recoge el alcance de este proyecto es el análisis de esta metodología en busca de mejoras, la resolución y descripción de las incidencias y la elaboración de las conclusiones, donde se evalúa la consecución de todos los objetivos propuestos en este trabajo.

En lo relativo al trabajo previo, los estudios y prácticas relacionados con la realidad virtual son muy extensos, debido al gran número de sectores que han encontrado de gran utilidad esta tecnología. No obstante, la aplicación concreta a la elaboración de visitas virtuales es más limitada.

Dentro del propio campus encontramos Grupo de Informática Gráfica Avanzada (GIGA) [1], un grupo de investigación del Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería de Aragón. Su labor se centra en la investigación en simulación luminosa y la visualización biomédica, aunque dentro de sus líneas de investigación se encuentra la realidad virtual y mixta.

Por otro lado, el Instituto Tecnológico de Aragón [2] ha desarrollado algunos proyectos relacionados con esta técnica, cuya temática aborda el tratamiento de enfermedades, el marketing, la detección de fallos de fabricación y la visualización de maquinaria diseñada por ordenador. Sin embargo, imparten cursos donde muestran su aplicabilidad en la formación y entrenamiento de los trabajadores, en el marco de la Industria 4.0 [3]. El interés por esta aplicación va en aumento, y encontramos varias conferencias sobre este tema impartidas por organismos como el Centro de Tecnologías Avanzadas de Zaragoza, un espacio de formación perteneciente al Instituto Aragonés de Empleo [4].

El contexto en el que se ha desarrollado este trabajo es más humilde. Sin embargo, contar con las instalaciones de la universidad para experimentar y con la opinión de docentes y alumnos ha supuesto una gran ventaja. Los métodos y técnicas empleados han sido fruto del estudio de la realidad virtual, así como la incorporación de mejoras fundamentadas en el aprendizaje a lo largo del grado, especialmente en lo relativo al análisis y optimización de procesos. Los aspectos más destacados son el trabajo fotográfico y el uso de diferentes programas como *Darktable*, *Hugin* o *Lapentor*, entre otros [5]–[7].

En los próximos apartados se establece una lista de objetivos indispensables, el análisis de necesidad y estudio de posibles interesados, todo lo que debe saberse para

entender la realidad virtual y su evolución, la comparativa entre las distintas herramientas necesarias y la elección final del equipo, la metodología explicada de forma esquemática y, por último, las mejoras, conclusiones y valoraciones extraídas de este trabajo. Todo ello se encuentra ampliado y complementado en distintos anexos, situados tras las referencias utilizadas.

## 2. OBJETIVOS GENERALES DEL TRABAJO

Los objetivos que se persiguen en este trabajo son los enumerados a continuación:

- Mostrar la problemática y necesidad de buscar alternativas a las visitas físicas.
- Plantear distintas soluciones y justificar la realidad virtual como elección.
- Explicar la tecnología de forma básica.
- Estudiar el estado actual de la cuestión.
- Mostrar las distintas opciones de cara a la selección del equipo.
- Investigar acerca de las opciones relativas al software.
- Seleccionar todo el material necesario argumentando la elección.
- Desarrollar la metodología para elaborar una visita virtual.
- Plasmar la teoría en un ejemplo práctico.
- Comentar las incidencias y plantear las posibles mejoras.
- Plantear las posibilidades de desarrollo en el futuro.
- Elaborar las conclusiones obtenidas del trabajo.



*Figura 1: Ejemplo de cómo una visita puede saturar unas instalaciones [8]*

### **3. NECESIDAD CONCRETA Y ALTERNATIVAS**

#### **3.1. Análisis de la necesidad**

Los procesos educativos y formativos deben mostrar la aplicación real del objeto de interés. Es por ello por lo que todo plan de estudios recoge las asignaturas distribuyendo los créditos correspondientes en horas teóricas y prácticas. De esta manera, los alumnos encuentran la motivación adecuada y asimilan mejor los contenidos.

En aquellos ámbitos del saber que estudien equipos complejos o grandes instalaciones, el centro no podrá abordar plenamente la tarea de la enseñanza práctica y será necesario recurrir a laboratorios de investigación y empresas. Sin embargo, existen varios motivos que impiden que los estudiantes acudan a estas instalaciones.

En primer lugar, los riesgos. Las instalaciones industriales y los laboratorios son lugares cuya naturaleza puede suponer un peligro nada desdeñable para los asistentes no especializados. Los riesgos pueden ser de muy diversa índole, desde peligro de quemaduras hasta riesgo de muerte por electrocución, además de otros más comunes como caídas, corte por objetos punzantes o aplastamiento por maquinaria. El conocer todas las medidas de seguridad necesarias puede precisar de más tiempo que la propia visita, por lo que no es una opción viable.

En segundo lugar, la sensibilidad de los equipos. Las empresas que se prestan a estas visitas se exponen a que alguno de los asistentes ocasione daños materiales. El coste económico de estos suele ser importante y el riesgo para los propietarios de las instalaciones es muy alto.

En tercer lugar, el elevado número de interesados. Los dos inconvenientes anteriores podrían ser solucionados reduciendo drásticamente el número de visitantes y controlando que se mantengan en un recorrido determinado. Sin embargo, al aumentar el número de estudiantes matriculados se debía aumentar el número de visitas y ha acabado por ser inviable (Fig. 1).

En cuarto y último lugar, la confidencialidad. Este aspecto es vital en aquellas empresas donde existan secretos clave para el desarrollo de su actividad y que les doten de una ventaja estratégica frente a sus competidores. En estos casos, queda recogido en el contrato de los trabajadores y su incumplimiento puede tener consecuencias legales. Por ello, el introducir agentes externos a las instalaciones sin poder controlar qué se muestra exactamente no es una opción.



Todos estos aspectos han tenido una inexorable consecuencia: los estudiantes ya no pueden visitar estas instalaciones y su aprendizaje se ha visto sesgado. De esta forma, puede verse como se gradúan cada año ingenieros que no han visto nunca en persona una central hidroeléctrica, físicos que no han estado en un acelerador de partículas o químicos que no han presenciado una planta nuclear. Esto aumenta la formación que los profesionales han de recibir a su llegada a las empresas y reduce la motivación de los estudiantes.

En este trabajo se va a estudiar la aplicación de la realidad virtual para posibilitar estas visitas, de forma que la experiencia de los usuarios se asemeje a una experiencia lo más realista posible, de forma económica y aplicable a grupos de personas de distintos tamaños. El propio trabajo responde a una necesidad explícita del departamento docente de Ingeniería Eléctrica, donde los profesores se encuentran con las puertas cerradas a las instalaciones relacionadas con su campo, imposibilitando que los alumnos puedan visitarlas. El nivel de dificultad actual para conseguir acceder a estos lugares es tan elevado que durante la elaboración de este trabajo no ha sido viable realizarlo en ninguna central eléctrica externa a la universidad, siendo este el objetivo inicial. No obstante, la información aquí recopilada es perfectamente útil y extrapolable a cualquier clase de empresa o centro.

Además del de Ingeniería Eléctrica, son muchos los departamentos que podrían beneficiarse de esta vía de aprendizaje: todos aquellos que estudien alguna clase de maquinaria, instalación o características especiales que no se encuentren disponibles en la Universidad de Zaragoza. Los más importantes son los relacionados con la ingeniería, como el área de Ingeniería Mecánica, la de Mecánica de Fluidos o Fabricación. Otros grados con formación técnica como el de Física Aplicada o Química podrían estar interesados.

Dentro del propio campus, se encuentran los docentes y alumnos de Arquitectura. La repercusión de las visitas virtuales en este grado puede llegar a ser aún mayor, ya que la variedad de proyectos arquitectónicos es muy elevada y los edificios más reseñables se encuentran a cientos de kilómetros de distancia. Por otro lado, reduciría el razonamiento espacial necesario por los alumnos para comprender algunos de los planos más complejos, además de ayudar a desarrollar su imaginación (Fig. 2).



*Figura 2: Estudio de arquitectura utilizando la realidad virtual unida al BIM [9]*

Existe otro ámbito que se enfrenta a una problemática similar: la formación de trabajadores. En muchos sectores industriales, la producción o funcionamiento no pueden ser detenidos bajo ningún concepto. En otros, el riesgo es muy elevado para usuarios no especializados (Fig. 3). Estos dos aspectos dificultan la incorporación laboral de los profesionales, que tienen que atravesar un periodo de adaptación supervisados constantemente por otro empleado o formador con experiencia, ya que es imprescindible que puedan familiarizarse con su puesto de trabajo, las instalaciones y sus tareas. Reducir este periodo de adaptación y sus costes es de vital importancia para las empresas, ya que supone un tiempo donde el trabajador está contratado, pero no es capaz de rendir al máximo.

Por otro lado, la normativa de seguridad laboral es cada vez más estricta y se va adaptando a las nuevas tecnologías. Un buen ejemplo de ello es la OHSAS 18.0001, que fue actualizada en junio de 2018 por la ISO 45.0001 para, entre otras cosas, identificar los riesgos y reducir los accidentes laborales. Una parte de estas normativas se refiere específicamente a los visitantes ya que, pese a no realizar ninguna actividad, el mero hecho de encontrarse en la zona de trabajo puede suponer un riesgo para ellos [10]. La protección ante estas amenazas obliga el uso de algunos equipos de protección individual, cuya tipología depende del peligro (Fig. 3). Un trabajador en proceso de formación no es tan diferente a un visitante; de hecho, este sí que puede llegar a interactuar con algunos de los equipos, por lo que el riesgo es aún mayor.



Figura 3: EPI contra el riesgo por arco eléctrico en una instalación eléctrica [11]

En definitiva, nos encontramos ante una clara problemática común: la imposibilidad de personarse físicamente en ciertos entornos industriales. Esto ha sido lo que ha motivado la búsqueda de una solución diferente, con el objetivo imprescindible de conseguir una experiencia muy similar a la real. Ante este reto, se han estudiado y comparado las distintas opciones, con el fin de comprobar que la realidad virtual es la más adecuada para ello.

### 3.2. Tecnologías alternativas existentes

- **Fotografías y vídeos:** Esta ha sido la solución más recurrente, pero las limitaciones que ofrece son muy elevadas, no alcanzando por ello el objetivo.
- **Maquetas:** Según el modelo a realizar, puede ser una opción interesante por su reducido precio y simplicidad. Su aplicación es muy atractiva en campos como la edificación o la arquitectura, pero es inviable en instalaciones o maquinaria compleja. Pese a contar con la ventaja de tratarse de un modelo físico, tampoco logra que el observador se sienta parte del entorno representado. Menos aún si el tamaño de los modelos se encuentra escalado.
- **Entorno virtual:** De forma similar a los videojuegos o la simulación por ordenador en el cine, se planteó el recrear los escenarios de interés para después visitarlos virtualmente. Esta alternativa presenta una gran mejora respecto a las anteriores, el aumento de sensación de inmersión que experimentaría el visitante. Es, de hecho,

la tecnología empleada en las escuelas de aviación o entrenamiento de conducción deportiva. En la aplicación que nos atañe, la dificultad del medio vuelve a limitar las opciones. Construir por ordenador todos los detalles de forma realista supondría un coste muy elevado, además de requerir de una gran cantidad de tiempo. Por ello, también fue descartada.

- **Realidad aumentada:** La realidad aumentada es una tecnología muy similar a la realidad virtual, pero con algunas diferencias [12]–[14]. La más importante, es el hecho de que en la aumentada el usuario ve proyecciones virtuales sobre la realidad. Es decir, en todo momento mantiene contacto visual con el entorno real que le rodea pero, por medio de unas gafas semitransparentes, percibe la sensación de que hay algo más sobre él. El ejemplo más común corresponde a los *filtros* del móvil. Estos captan los rasgos faciales y los modifican en tiempo real para crear apariencias concretas. En el ámbito laboral, por ejemplo, encontramos la posibilidad de guiar a los operarios en sus tareas de mantenimiento, mostrando indicaciones sobre su puesto de trabajo (Fig. 4). Esta tecnología ha encontrado muchos adeptos en los profesionales del BIM, donde éstos, necesitando únicamente de un espacio vacío, pueden visionar en tamaño real sus proyectos antes de su construcción. También es aplicable a los equipos diseñados por CAD, por lo que podría ser muy útil para *visitas* de elementos concretos o de instalaciones sencillas. De forma similar al caso anterior, el mayor problema reside en el diseño de estos elementos, no tanto en su visionado. Como se trata de obtener una solución polivalente y apta para todo tipo de escenarios, esta tampoco sería la opción más adecuada.



Figura 4: Un operario consulta la guía de mantenimiento

Tras esta breve descripción de las distintas técnicas alternativas, se recoge a continuación (Tabla 1) un resumen de los aspectos más relevantes a las visitas, para mostrar de forma más clara las diferencias y probar de forma contundente que la realidad virtual es la elección correcta.

Alternativa	Inmersión	Versatilidad	Tiempo requerido	Coste
Fotos y vídeos	Mala	Muy buena	Bajo	Muy bajo
Maquetas	Mala	Baja	Medio	Bajo
Entorno virtual	Muy buena	Muy buena	Alto	Alto
Realidad aumentada	Media	Buena	Medio	Medio
Realidad virtual	Muy buena	Muy buena	Medio	Medio

Tabla 1: Comparativa de técnicas

Para concluir el análisis de necesidad se ha realizado un cuestionario en *Typeform* [15] a estudiantes del Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales, cuyos detalles se encuentran en el [Anexo I](#). De las respuestas pueden extraerse varias conclusiones. En primer lugar, es preocupante que el promedio de visitas a empresas realizadas se limite a 2. Si las visitas son relevantes, aún lo son más en un grado de carácter generalista como es el industrial, donde pueden encontrarse una gran diversidad de instalaciones diferentes. Esto lo saben los alumnos, ya que casi el 96% coincidía en la importancia de estas salidas para su formación. El descontento de los alumnos en este aspecto es notable, al calificar su nivel de satisfacción en lo relativo a este tema con un promedio de 2.3 puntos sobre 5. El resultado es que algo más de un 60% de los encuestados afirma conocer solo algunos detalles del entorno donde desempeñará su carrera profesional mientras un reducido 8% afirma conocerlo bien.

A la hora de buscar alternativas, casi el 80% opina que las medidas tomadas por los docentes para sustituir estas visitas no son suficientes, mientras que más del 60% cree que la realidad virtual supondría una alternativa mejor. Finalmente, cabe destacar que la nota en promedio para calificar la implantación de la realidad virtual para hacer visitas virtuales asciende a 4.2 puntos sobre 5.

De este cuestionario obtenemos, por tanto, una prueba de la urgente necesidad por aumentar las visitas para los alumnos, siendo la realidad virtual una opción interesante para ello. Por tanto, a continuación se procede a hacer un estudio de esta tecnología, su desarrollo y sus principales aplicaciones.

#### 4. LA REALIDAD VIRTUAL: HISTORIA Y EVOLUCIÓN

La realidad virtual presenta una evolución exponencial desde su primera aplicación, ya que va estrechamente ligada al desarrollo en la electrónica. Los avances más importantes han sido los siguientes [16]–[18]:

- ***Aparato de televisor estereoscópico*** (1945): McCollum patentó este sistema de visionado donde varias personas podían apreciar la proyección a la vez.
- ***Gafas estereoscópicas*** (1960): Morton Heilig mejoró e integró esta tecnología en un equipo individual, más cómodo y colocado en la cabeza. Añadió, además, unos auriculares.
- ***Headsight*** (1961): Philco Corporation diseñó este casco que, mediante la medida de los movimientos de cabeza y el uso de un circuito cerrado de televisión controlado remotamente, permitía al usuario situarse virtualmente en una habitación cuyas condiciones suponían un riesgo (Fig. 5). Es considerado el primer sistema HMD (*Helmet Mounting Display*).
- ***Sensorama*** (1962): Morton Heilig desarrolló un sistema estacionario que permitiese experimentar multitud de sensaciones, mejorando el realismo de la experiencia virtual. Estas mejoras consistían en la adición de vibraciones, aromas, viento o sonido estéreo [19].
- ***La espada de Damocles*** (1965): Ivan Sutherland desarrolló un ordenador completo que mostraba imágenes 3D utilizando un complejo y pesado casco. Este, pese a necesitar ser colgado del techo, presentaba claras ventajas como la libertad de giro completo de la cabeza, el seguimiento de los ojos o la incorporación de elementos transparentes, siendo el primer adelanto a la realidad aumentada.
- ***Data Glove*** (1982): Se trataba de unos guantes con sensores de movimiento y posición desarrollados por Jaron Lanier.
- ***Sega VR*** (1993): Tras lanzar al mercado el primer videojuego con imagen estereoscópica, SEGA se convierte en pionero al idear las primeras gafas de realidad virtual, que conformaron las bases para las gafas del presente.
- ***The Matrix*** (1999): Al igual que las ficciones de Julio Verne fueron la inspiración de muchos de los inventos más modernos, la película de ciencia ficción *The Matrix* anticipó las posibilidades de la realidad virtual.

- **Prototipo de *Oculus Rift* (2010):** Palmer Luckey retoma la idea del casco de realidad virtual y termina por desarrollar el prototipo de *Oculus Rift*. Este proyecto tuvo tanto éxito que contó con 2.5 millones de dólares de financiación y fue comprado por Facebook por 2.000 millones.
- **La aparición de la VR (2014):** Tras el éxito de *Oculus*, los principales fabricantes de tecnología se adentran en el mundo de la realidad virtual. De todos ellos, destaca *Google Cardboard*, ya que fue el primero en utilizar la potencia de computación del Smartphone del usuario, vendiendo únicamente un soporte de cartón para los lentes y abaratando así los costes.
- **El mercado de la VR (2016):** En este año, cada fabricante líder lanza sus buques insignia de este sector. Los más reseñables son: *Oculus Rift*, *HTC VIVE*, *PlayStation VR* o *Samsung Gear VR*.



*Figura 5: Demostración de Headsight [16]*

Todos estos adelantos en hardware han ido ligados a diferente software para disfrutar de variedad de contenido, que ha empezado a facilitarse de forma gratuita. En el presente, las aplicaciones de la realidad virtual son múltiples y muy variadas. Se ha democratizado el acceso a esta tecnología mediante hardware de consumo, permitiendo aumentar los ingresos de las empresas del sector y potenciando la aparición de software más avanzado para el desarrollo de distintas aplicaciones, especialmente las relativas al ocio. Los usos más comunes son los siguientes [20], [21]:

- Educación: desde infantil hasta grados universitarios.
- Ocio: con multitud de juegos y aplicaciones.

- Turismo y cultura: visitas y recreaciones.
- Militar: entrenamiento de situaciones de riesgo.
- Entrenamiento en pilotaje: simulación de vuelo.
- Medicina: preparación para cirugías complejas.
- Deporte: práctica y mejora en reflejos y velocidad.

No obstante, existen otros muchos sectores: negocios, construcción, hostelería, telecomunicaciones, cine, moda, visualización en la ciencia o modelización, entre otros.

La aplicación concreta de la realidad virtual a las visitas virtuales se encuentra actualmente en desarrollo. Son muchas las empresas del sector terciario interesadas en las distintas bondades que ofrece esta tecnología, aunque en muchas ocasiones el desconocimiento de la misma impide su incorporación. Los fines concretos de estas visitas son muy diversos:

En los centros comerciales más importantes, es una forma diferente de mostrar los distintos departamentos y su tamaño, haciendo que el cliente pueda tener una idea previa mediante internet de qué va a encontrarse una vez se persone físicamente. En hostelería, es una forma muy directa de mostrar las distintas habitaciones, apartamentos o casas rurales que el inquilino puede alquilar. Este consigue una mayor cantidad de información en comparación con los servicios habituales, siendo estos penalizados en su decisión. En el mundo fabril y empresarial, permite dar un mejor aspecto de cara a los inversores. En educación, permite a los padres conocer en detalle los centros donde se educarán sus hijos, sin necesidad de acudir a las jornadas de puertas abiertas.

Como puede verse, la realidad virtual aplicada a las visitas virtuales corresponde, por tanto, a una forma original de marketing, un sector donde la innovación es compleja y que supone importantes ventajas. Sin embargo, los usos universitarios y de formación profesional propuestos en este trabajo parecen encontrarse en un estado embrionario.

## **5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **5.1. Realidad virtual**

Según la RAE, la realidad virtual se define como la “Representación de escenas o imágenes de objetos producida por un sistema informático, que da la sensación de su



existencia real”. La aplicación concreta de la realidad virtual a este trabajo consiste en la visualización de fotografías de un entorno real, tratadas y procesadas para mejorar la sensación de inmersión. Para ello, será necesario una forma concreta de visualización, como la pantalla de un ordenador, teléfono o unas gafas especiales.

## 5.2. Fotografía panorámica

Cuando hablamos de imágenes panorámicas, normalmente entendemos que se trata de tomas con un amplio grado de visión. No obstante, en el mundo de la fotografía el concepto *panorámica* hace referencia a la unión de varias imágenes para conformar una sola, que abarque un campo de visión mayor que cada una de ellas individualmente [22]. El motivo para hacer este montaje, en lugar de utilizar lentes de menor distancia focal, es el evitar las grandes distorsiones y falta de compresión que estos objetivos causan. El proceso es similar al de la figura 6.

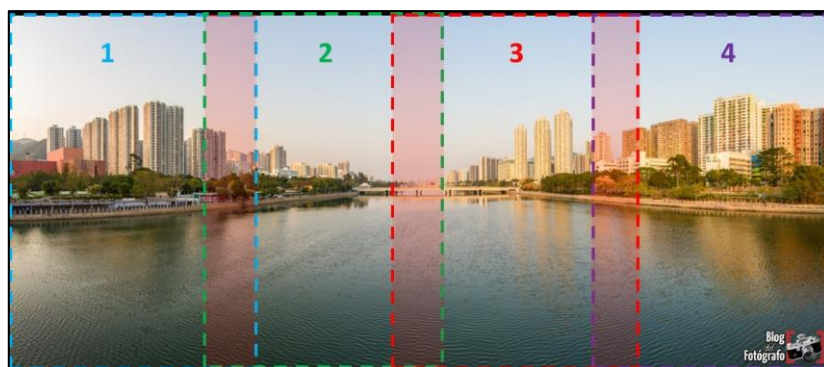


Figura 6: fotos solapadas creando una panorámica [23]

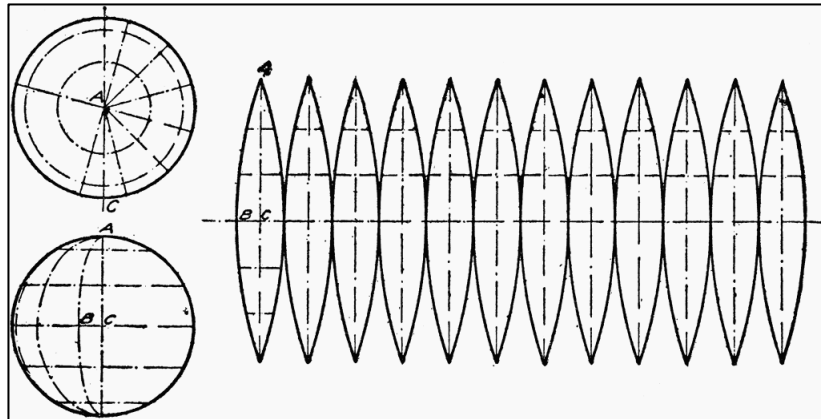
## 5.3. Fotografía 360

Este tipo de fotografía se basa en el concepto anterior pero, en este caso, el ángulo de visión será de 360 grados en todas las direcciones. De esta manera, el resultado es una superficie esférica equivalente a lo que se podría ver si nos situásemos en su centro, de derecha a izquierda y de arriba abajo. Esta clase de imágenes, en el proceso de tratamiento, podrán verse como proyecciones en un plano, como si de una panorámica convencional se tratase. Sin embargo, en última instancia, la proyección será esférica<sup>1</sup> (Fig. 7), imposible de abarcar por el ojo humano cuyo ángulo de visión máximo es igual

---

<sup>1</sup> Por ello, se nombra indistintamente *fotografía 360*, *fotografía esférica* o *esferas*.

a 180°. Por ello, el usuario deberá seleccionar qué parte de dicha área desea ver en cada momento, como cuando se gira la cabeza o se mueven los ojos en la vida real. Pese a estas libertades de movimiento, todo será en una posición fija, equivalente a estar en el entorno analizado, pero sin poder andar. Para aumentar el número de zonas a visitar, es necesario un paso más.



*Figura 7: Desarrollo de la superficie de la esfera [24]*

*Cuando se muestra la proyección en un plano o proyección cilíndrica, los huecos se rellenan distorsionando las imágenes.*

#### **5.4. Visita virtual**

Una visita completa precisa de varias imágenes 360, de forma que sea posible *estar* virtualmente en varios lugares diferentes. El número de fotografías necesarias dependerá del tamaño de las instalaciones y la distancia deseada entre cada una de ellas. Una forma muy realista de diseñar la visita sería mallar el área de estudio con un tamaño de celda igual a la distancia de un paso, introduciendo imágenes 360 en cada nudo. Sin embargo, esto haría necesario un número muy elevado de tomas y se incurriría en mayores gastos de computación. Por ello, el número adecuado será el mínimo posible que permita al usuario ver todas las zonas relevantes.

En definitiva, el diseño de la visita consistirá en la distribución de las fotografías, representadas como esferas, a lo largo del plano de la instalación (Fig. 8). Finalmente, se introducirán saltos entre unas y otras, consiguiendo crear la sensación de desplazamiento.

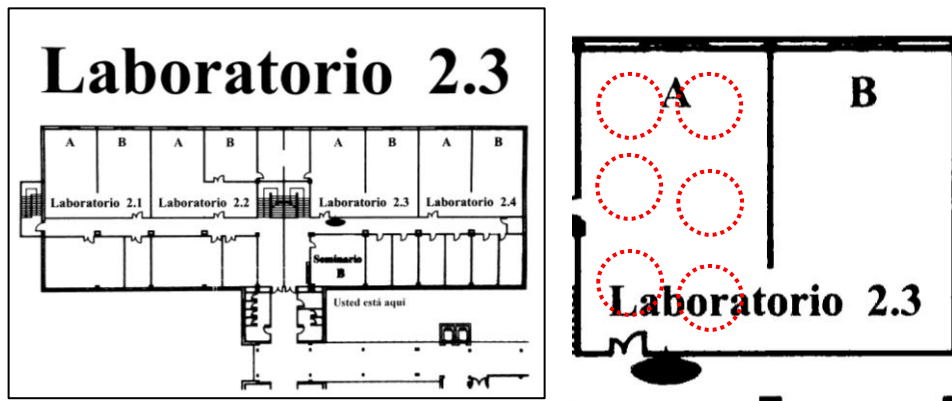


Figura 8: Ejemplo sobre el plano de una de las pruebas.

## 7. EQUIPO NECESARIO: HARDWARE Y SOFTWARE

Como se va a ver a continuación, existen varias formas de crear una visita virtual. Sin embargo, todas ellas presentan una diferenciación común entre las necesidades de hardware para captar las imágenes y el software para procesarlas, dado el carácter digital de las mismas. En el caso del hardware, un equipo básico contará con un medio para captar las imágenes y un elemento de sujeción y posicionamiento. Respecto al software, el número de programas necesarios vendrá dado por las tareas realizadas en el equipo.

### 7.1. Equipo y herramientas físicas

#### 7.1.1. Captación de imágenes

Captar una escena en 360° requiere de, al menos, dos cámaras (o dos sensores fotosensibles, siendo rigurosos). Esto se debe a la incapacidad óptica de los objetivos existentes de captar un ángulo de visión tan elevado, siendo el máximo logrado igual a 270° [25]. Por ello, es necesario que dos o más ópticas proyecten la luz hacia un sensor asociado a ellas. El número de ópticas determinará el tipo de cámara:

- Cámaras convencionales: Cualquier cámara puede ser usada para lograr imágenes esféricas, siempre que se realice un número de fotos suficiente de forma que cubra los 360° de visión en todas las direcciones. Para ello, es necesario que la rotación de la cámara sea respecto a una parte concreta del objetivo, la pupila, y que el soporte del conjunto esté fijado en el suelo u otra referencia. El elevado número de fotos obliga a unirlos en postproducción mediante una técnica llamada

*stitching*<sup>2</sup>. Este proceso de unión puede ser largo y tedioso, por lo que se han buscado otras alternativas para los productos de consumo y para necesidades profesionales donde la velocidad sea un factor determinante. Sus principales ventajas son el reducido coste, la variedad de usos además de la creación de fotografías esféricas que permite el equipo y la gran calidad del resultado final, al obtenerse imágenes de gran tamaño y resolución.

- *Rigs* de cámaras: Son estructuras físicas diseñadas para montar en ellas más de una unidad de un modelo concreto de cámara. Suelen incorporar objetivos de gran angular u ojo de pez<sup>3</sup>, de forma que su ángulo de visión cubre todo el espacio que rodea el conjunto. La principal ventaja es la reducción de movimientos necesarios, ya que, sincronizando todas las cámaras, con un disparo ya se logra la imagen esférica. El diseño del alojamiento está ideado para que el límite de visión de una óptica coincida de forma precisa con el de la siguiente, o se produzca un nivel de solapamiento determinado, de forma que la unión entre las imágenes sea más rápida que de la forma convencional. El resultado presenta una calidad muy buena, dependiendo del tipo de cámara. Su principal desventaja es el elevado coste, ya que precisa de varios cuerpos y objetivos. Además, el volumen del conjunto puede llegar a ser importante, con las consecuencias que ello puede acarrear: dificultad de transporte, necesidad de equipos más robustos y sombras proyectadas en el suelo más grandes, que afectarán al resultado final. No obstante, ha sido la solución implementada por estudios fotográficos y *freelancers* que ya contaban con ese equipo y solo han tenido que comprar la estructura.
- Cámaras automatizadas: Se trata de modelos especialmente diseñados para la fotografía 360 y las visitas virtuales. Su funcionamiento es muy similar al de las cámaras convencionales pero, en este caso, tanto el movimiento de giro como la unión entre las imágenes es realizada por la cámara y el software integrado. La principal ventaja es la gran facilidad de uso, donde el usuario solo tiene que montar el equipo y desplazarlo entre las diferentes localizaciones. Sus principales desventajas son su coste, su baja diversidad de aplicaciones y su tamaño.

---

<sup>2</sup> *Stitching* es una palabra inglesa cuyo significado es ‘dar puntadas’ o coser.

<sup>3</sup> Los objetivos *ojo de pez* son nombrados así por su parecido a los ojos del pescado.

- Cámaras 360: Con el desarrollo tecnológico y la aparición de sensores cada vez más pequeños, los fabricantes han apostado por esta nueva forma de fotografía y vídeo. Este tipo de cámaras cuentan con un solo cuerpo y varios sensores y lentes acoplados a él. La unión de las imágenes se hace en tiempo real, en la propia cámara, eliminando la fase de *stitching*. Los modelos más comunes son los de consumo, que aparecen como innovación a las ya tradicionales cámaras de acción. Estos, presentan un cuerpo de dimensiones muy reducidas con dos lentes a los lados, con 180° de ángulo de visión, de forma que cubren toda el área alrededor. En el sector profesional, encontramos modelos más sofisticados, con un mayor número de sensores y de mayor tamaño. Esto aumenta la calidad pero, de nuevo, a costa de un elevado precio y volumen.

Dentro de estas categorías, han ido apareciendo infinidad de modelos diferentes. Algunos de ellos junto con sus características más relevantes, se encuentran recogidos en el [Anexo II](#). A la hora de elegir uno de los equipos expuestos, es imprescindible señalar que existen dos condiciones básicas: el reducir los costes al máximo y el conseguir poder ampliar la imagen para ver los detalles de las instalaciones. Bajo la primera premisa, se limitan las opciones a usar una cámara convencional o a utilizar una pequeña cámara 360 de acción.

La ventaja que presenta la cámara 360 es muy relevante: eliminar el proceso de unión. Esta fase es la más tediosa de toda la realización de la visita y la que mayores errores puede ocasionar. Sin embargo, cabe destacar que las uniones realizadas internamente por el software de la cámara no siempre son correctas, sin que pueda hacer nada para solucionarlo. Por otro lado, no precisa de conocimientos técnicos, ya que opera de forma automática. Esto, a su vez, presenta una desventaja, ya que no permite adaptar la toma a las necesidades.

Una cámara tradicional, sin embargo, puede operar bajo un control completamente manual, ampliando el rango de condiciones de trabajo en la que puede operar. Por otro lado, presenta un mejor comportamiento en condiciones de baja luz, debido al tamaño de su sensor. La ventaja clave, sin embargo, es la resolución, nitidez y calidad que se pueden lograr, en comparación con la pequeña cámara 360. Aunque esto parezca un aspecto meramente estético, es imprescindible para que al ampliar en la visita se puedan apreciar los detalles (Fig. 9). Un equipo económico no destacará en este aspecto

tanto como un equipo profesional, pero sin duda superará con creces a las cámaras de 360° que se encuentran actualmente en el mercado.

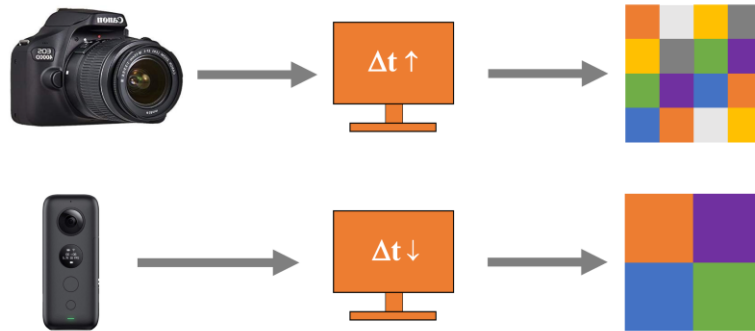


Figura 9: Comparación básica. Fuente: [26], [27] y elaboración propia. Arriba, una cámara convencional; abajo, una cámara 360

Por todo lo expuesto, **la cámara tradicional ha sido el equipo seleccionado** para realizar la visita. Dentro de las distintas variedades, se ha escogido un modelo básico de formato APS<sup>4</sup> por conservar las propiedades necesarias pero a un precio reducido.

### 7.1.2. Objetivos o lentes

En las cámaras donde las lentes vengan ya incorporadas, no será necesario estudiar este aspecto, ya que su diseño incluye el estudio del ángulo de visión. Para el resto de los casos, debe tenerse en cuenta. Un objetivo viene caracterizado por su longitud focal y su apertura<sup>5</sup> de diafragma máxima [29]. Mientras que el valor de apertura máxima no es relevante para las visitas virtuales, la longitud focal interviene directamente en el ángulo de visión [30]. Este es mayor cuanto menor sea la longitud focal, de forma que ha de maximizarse en la medida de lo posible. Esto permitirá abarcar los 360 grados en todas las direcciones con un menor número de fotografías, acortando el tiempo necesario, el coste computacional y el número de uniones a realizar. Los objetivos más comunes de

---

<sup>4</sup> El tamaño de los sensores fotográficos viene especificado por el fabricante. Los más comunes son el formato completo, de 35mm, y los menores a él, cuyo tamaño es expresado mediante un múltiplo de ampliación. Por ejemplo, el formato APS<sup>c</sup> corresponde a un formato completo aumentado 1,5 veces [28]

<sup>5</sup> La apertura es el tamaño por el que puede pasar la luz a través de un objetivo. Es un parámetro que regula la cantidad de luz que entra y el rango de distancias enfocadas.

este tipo son los denominados súper gran angular, *fisheye* u ojo de pez, ya que algunos llegan a abarcar un ángulo de 180 grados.



*Figura 10: En naranja se representa lo que captaría una cámara APS-c en comparación con una de formato completo, utilizando la misma distancia focal [31].*

Sin embargo, debido a la excepcionalidad de estos objetivos y su menor mercado, en la mayoría de los casos los precios serán elevados. Las marcas más punteras en este sector son [29]: *Canon, Nikon, Sigma, Samyang, Tamron y Tokina*. Será necesario tener en cuenta el tamaño del sensor a la hora de considerar una longitud focal u otra, discerniendo entre formato completo o formato *APS-c* (Fig. 10). En el Anexo II, en el apartado relativo a las lentes, se muestra una comparativa. De entre las alternativas encontradas en el mercado, las características básicas son muy similares y solo varía la calidad que entregan. De nuevo, se ha optado por el modelo más sencillo, **seleccionando el *Neewer 8mm f3.5***.

### 7.1.3. Soporte del equipo

Para todos los casos mencionados anteriormente, es necesario un elemento que sustente la cámara o conjunto de forma estable y segura, de forma que no exista movimiento o vibración alguna durante las tomas. El tipo de estructura necesaria vendrá determinado por el equipo de captación de imagen seleccionado, siendo el trípode el más usado. Los trípodes vienen definidos por la carga máxima que pueden soportar en condiciones de

seguridad y existen infinidad de modelos en el mercado. En caso de utilizar cámaras más ligeras, como las 360 de acción, puede usarse un trípode pequeño acoplado a un bastón telescópico, un trípode de iluminación o un mono-pie de vídeo<sup>6</sup> [32].

La principal ventaja del trípode es el elevado peso que puede llegar a soportar, la altura que puede alcanzar y la robustez y estabilidad que otorgan al conjunto. No obstante, se trata de un equipo más pesado, de mayor precio y que ocupa un mayor espacio en planta, llegando a aparecer en las fotos.

En los casos del mono-pie de vídeo o los trípodes de iluminación, la estabilidad es mucho menor, especialmente a la altura necesaria, y su uso en exteriores está condicionado al viento. Por contra, presenta unas dimensiones menores, pudiéndose usar en instalaciones estrechas y evitando el tener que borrarlo de la mayoría de fotos. Algunas cámaras 360, están configuradas para eliminar automáticamente la zona de la imagen donde aparezca dicho soporte, introduciendo información de las zonas colindantes y acortando el proceso de edición.

Como se ha optado por trabajar con una cámara convencional, su peso obliga a utilizar un trípode. Sería suficiente un modelo básico de iniciación con un precio similar al mostrado en la tabla 2 pero, por razones logísticas, ha sido necesario escoger otro modelo, en concreto el **Zomei M8** con un precio de 125 € [33].

#### 7.1.4. Movimiento y orientación del equipo

La necesidad de una rótula<sup>7</sup> viene condicionada al equipo escogido previamente: en el caso de las cámaras 360 y los racks, no será necesaria ni la rótula ni ningún elemento extra, ya que la posición vertical es la adecuada. Para las cámaras automatizadas, solo será necesaria una rótula básica de forma que estas se encuentren niveladas, ya que en su estructura va incluido el sistema de giro automatizado. Si se trabaja con una cámara convencional, además de una rótula básica para el nivelado, será necesario una rótula panorámica.

---

<sup>6</sup> Un mono-pie de vídeo consiste en un bastón telescópico provisto en su extremo inferior de 3 pequeñas patas desplegadas, permitiendo el sostenerse verticalmente.

<sup>7</sup> La rótula es un elemento que va atornillado o unido al trípode cuya función es ampliar el rango de movimientos de la cámara y mejorar la precisión de los mismos.



Una rótula panorámica es una estructura que permite un posicionamiento muy preciso del conjunto fotográfico, de forma que pueda hacerse rotar respecto a un punto concreto del objetivo (Fig. 11), con fines que se estudiarán más adelante. La forma de este elemento presenta varias vigas en voladizo, por lo que la calidad del mismo es determinante para usarse con equipos pesados sin que aparezcan deformaciones. Algunas de las marcas más comunes en el mercado son [34]: *Nodal Ninja*, *Leofoto*, *Rollei*, *Novoflex*, *Andoer* o *Neewer*, entre otros. La comparativa entre estos modelos se encuentra en el [Anexo II](#).

La elección, de nuevo, ha sido apostar por el equipo más económico, ya que el peso de la cámara escogida no es tan elevado como un equipo profesional y lo podrá soportar en condiciones de seguridad. Esta rótula presenta un nombre genérico y la comercializa la marca *Neewer*.



Figura 11: Rótula panorámica manteniendo fija la pupila de entrada [35]

## 7.2. Software

Toda la tecnología mencionada en el apartado anterior resulta en archivos digitales. Estos, dependiendo de cada equipo, precisarán de un procesamiento u otro. Por otro lado, dado que el fin último es la publicación de una visita virtual, será necesario el compartirlo en internet. Atendiendo a todas las distintas fases que pueden darse en la creación de una visita virtual, se contemplan los tipos de programas que se exponen a continuación.

### 7.2.1. Editor de fotografías en lote

Dado que las imágenes captadas por un sensor pueden contar con diversos errores, han de atravesar un ligero proceso de tratamiento y corrección comúnmente llamado revelado.

Los errores más comunes son la falta de nitidez, la subexposición o sobreexposición<sup>8</sup>, la presencia de aberraciones cromáticas<sup>9</sup> o una temperatura de color<sup>10</sup> incoherente. Para esta tarea, existen diversos programas [36], [37]: *Lightroom*, *Luminar*, *Capture One*, *Affinity Photo*, *Darktable* o *Gimp*, entre otros. Las diferencias en lo referente a las necesidades planteadas son muy pequeñas y afectan principalmente a la interfaz, velocidad de uso y precio, por lo que cualquiera puede servir adecuadamente.

### 7.2.2. Software de unión de panorámicas

Con todas las fotos disparadas para cubrir el espacio, debe obtenerse una imagen esférica final, que conformará una escena concreta en la visita. Dicha imagen, proviene de la proyección en dos dimensiones llamada panorámica, como se ha comentado anteriormente. El conformarla requiere de unir todas las capturas entre sí, estableciendo cuales son los puntos en común y haciéndolos coincidir. Existen infinidad de programas con este fin, debido a que la fotografía panorámica lleva más tiempo en desarrollo que la de 360° y los avances de la primera sirven para la segunda. Algunos ejemplos son [38], [39]: *PTGui Pro*, *AutoPano Pro*, *Hugin*, *Adobe Photoshop* o *Gimp*. Las diferencias entre ellos vienen dadas principalmente por el precio, pero también por la precisión de los resultados, la velocidad de compilación de datos y las funciones adicionales.

### 7.2.3. Software de creación de la visita virtual

Una vez se han creado todas las imágenes 360, aunque sean obtenidas directamente de una cámara 360, es necesario disponer de un programa que permita la ordenación y posicionamiento relativo entre ellas. Para ello, en primer lugar, debe interpretar las proyecciones cilíndricas y convertirlas en imágenes esféricas. Después, establecer puntos de enlace entre unas y otras y añadir la información de interés en ellas. Finalmente, ha de poder ser exportado o publicado, de forma que la visita sea accesible al público.

---

<sup>8</sup> La subexposición y sobreexposición son dos conceptos fotográficos que hacen referencia a la falta o exceso de luz captada en una fotografía.

<sup>9</sup> Las aberraciones cromáticas son un defecto que se presenta en los bordes de los elementos de una imagen y que ocasionan la aparición de tonos verdes y morados no presentes en la realidad.

<sup>10</sup> La temperatura de color hace referencia al equilibrio entre colores cálidos (rojo, amarillo y naranja) y fríos (verde, azul y morado) en una imagen.

Existen muchas opciones que reúnen los requisitos mencionados [40], [41]: *Google Tour Creator, Kolor Panatour, Lapentor, Marzipano, Tourweaver* o *3DVista Virtual Tour*, entre otros. Todos ellos permiten crear, de forma online o mediante una versión de escritorio, una visita completa y añadir información. Existe, además, software más avanzado que permite extraer planos arquitectónicos y realizar mediciones reales, como es el caso del software *Cloud 3.0* de *Matterport* o el software de *Cupix*.

Los tres programas escogidos son completamente gratuitos, presentan todas las funciones necesarias y están disponibles tanto para Windows como para macOS. Sus nombres, siguiendo el orden en el que han sido explicados, son: *Darktable, Hugin* y *Lapentor*, siendo este último online.

### 7.3. Listado del equipo seleccionado y presupuesto final

En la tabla 2 se muestra el listado de herramientas básicas empleadas, como cierre de este capítulo. Concluir, además, afirmando que queda demostrado que con un presupuesto reducido pueden lograrse las visitas virtuales y, por tanto, ofrecer una alternativa a las reales.

Tipo/Función del equipo	Nombre/Modelo	Precio
Cámara	Canon EOS 4000D	280 €
Objetivo	Neewer 8mm f3.5	130 €
Rótula	Neewer rótula panorámica	40 €
Trípode	Genérico <sup>(1)</sup>	60 €
Software de edición	Darktable	Gratuito
S. de panorámicas	Hugin Stitcher	Gratuito
S. De creación de la visita	Lapentor	Gratuito
<b>Coste total =</b>		<b>510 €</b>

(1) Como se indica en el punto 7.1.3, el equipo adquirido es otro, pero este sería más acorde

Tabla 2: Presupuesto final. Fuentes: [5]–[7], [26], [42]–[44] y elaboración propia

## **8. METODOLOGÍA PARA CREAR UNA VISITA VIRTUAL**

El objetivo principal de este trabajo es ofrecer una solución ante la imposibilidad de visitar o prepararse en una empresa. Con el fin de probar la validez de lo aquí expuesto y mostrar ejemplos de situaciones reales, se han realizado dos visitas virtuales. Además, dado el interés mostrado por esta técnica y su utilidad, se han recogido los distintos pasos a seguir para que otros, en el futuro, puedan obtener resultados similares.

Con el fin de mejorar la comprensión, permitir la separación de tareas si se realiza por equipos y mejorar el rendimiento en el flujo de trabajo, se ha dividido el proceso en tres fases claramente diferenciadas, explicadas en los apartados que siguen.

### **8.1. Captación de imágenes**

#### **8.1.1. Planificación**

En primer lugar, es conveniente saber qué se va a encontrar en las instalaciones de estudio. En algunas empresas, pueden existir algunos de los riesgos comentados anteriormente, obligando a llevar el equipamiento de protección adecuado. En otras, puede contarse con muy poco tiempo, siendo necesario tener bien planificado todo el proceso. Por ello, tener acceso al plano en planta antes de llegar puede ser muy útil.

La fase de preparación también incluye el llevar la batería del equipo cargada al máximo y tarjetas de memoria suficientes por duplicado, debido al elevado número de fotografías que se van a disparar y la posibilidad de que alguna tarjeta falle en medio de la sesión.

Una vez en las instalaciones, habrá que prever posibles cambios en la iluminación. Si estos suceden entre escena y escena, la visita virtual no tendrá una apariencia homogénea. Si ocurre, además, en mitad de la fotografía de una escena, las fotografías que la conformen deberán repetirse al completo. Por otro lado, la presencia de trabajadores puede complicar e incluso imposibilitar la unión posterior de las imágenes, siendo prioritario evitar esta situación o habrá que cerciorarse disparo a disparo.

#### **8.1.2. Preparación del equipo**

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, el equipo básico se compone de una cámara, un objetivo súper angular, una rótula que los orienta y un trípode que sustenta el conjunto. El montaje del trípode y el roscado del objetivo en el cuerpo de la cámara son

muy sencillos, pero en el caso de la rótula panorámica pueden presentarse algunas dificultades, por lo que se detallan las instrucciones en el Anexo III. Es importante, además, que esta rótula sea acoplada sobre el trípode ya nivelado.

Con todo montado, antes de comenzar a disparar e introducir el equipo en la escena a fotografiar, es necesario realizar un ajuste o calibración. Cuando se produzca el giro de la rótula panorámica, debe mantenerse en todo momento fijo respecto al trípode un punto concreto del objetivo. A este se le llama *pupila* y su posición se encuentra, aproximadamente, en el lado interior del primer elemento de cristal. El giro respecto a este punto, garantiza que no se produzcan errores de alineación, también llamados de paralaje, que dificultarían la unión de las fotos posteriormente. Es, por tanto, el paso más importante y debe realizarse con el sumo cuidado. El perder un minuto en esta fase puede llegar a ahorrar horas de trabajo. Es por ello por lo que la calibración al completo se encuentra detallada aparte, en el [Anexo IV](#).

Finalmente, el último paso de la preparación consiste en introducir los parámetros adecuados en la cámara: tiempo de exposición, sensibilidad ISO, apertura de diafragma y distancia de enfoque. Los tres primeros, en conjunto, reciben el nombre de exposición y determinan la luminosidad. Los dos últimos, serán los que condicionen qué partes de las tomas se encontrarán enfocadas. Como en un lugar pueden existir zonas muy oscuras y otras muy claras, el nivel de luminosidad a introducir en la cámara ha de ser un valor medio, un equilibrio que permita apreciar todos los detalles de la imagen o recuperar<sup>11</sup> la información en los valores extremos al tratar las imágenes posteriormente. En caso de que la diferencia entre luces y sombras sea muy elevada, deberá aplicarse una técnica más compleja, llamada HDR<sup>12</sup>. Esta situación puede darse en instalaciones con ventanas al exterior donde sea imperativo el poder ver a través de ellas en las fotos. Las instrucciones pertinentes para escoger la distancia de enfoque y para seleccionar la exposición media,

---

<sup>11</sup> Gracias a los programas de edición y tratamiento de imágenes, puede conseguirse iluminar zonas de la imagen que en un principio eran negras u oscurecerse otras que eran blancas. Tanto el blanco como el negro puro representan ausencia de información, por lo que el oscurecer y aclarar esas zonas implica *recuperar* la información perdida.

<sup>12</sup> HDR corresponde a las siglas de *High Dynamic Range* o alto rango dinámico. El rango dinámico es la diferencia máxima de exposición o luminosidad que es capaz de captar una cámara, sin perder el nivel de información y detalle. Esta técnica consiste en combinar varias imágenes del mismo encuadre con distintos valores de exposición (uno normal, otro más luminoso y otro menos), permitiendo obtener una imagen con detalle en todas sus zonas. Es recomendable evitar utilizar esta técnica en las visitas virtuales, ya que implica triplicar el número de fotos [45].

respectivamente, se encuentran en el [Anexo V](#) y [Anexo VI](#), respectivamente. Estos pasos, salvo que las condiciones sean homogéneas en toda la visita, deberán repetirse para cada fotografía 360. Otro parámetro relevante es la ya mencionada temperatura de color. Deberá seleccionarse en la cámara el tipo de luz que más se asemeje a la presente en el espacio de trabajo, aunque pueda modificarse posteriormente en edición, con el fin de que sea constante en todas las fotografías de una misma visita y no varíe foto a foto. Finalmente, es muy recomendable que la cámara capture las imágenes en formato *RAW*<sup>13</sup>, en lugar del común *Jpeg*.

### 8.1.3. Disparo de las fotografías

Con el equipo montado y todos los parámetros completamente fijados, puede comenzarse a hacer las fotos. Como se ha comentado, la rótula panorámica deberá ser girada y posicionada de forma que se consiga cubrir toda el área que rodea al equipo. No existe una única forma de hacerlo correctamente, por lo que aquí se presenta la que mejores resultados ha arrojado la experiencia.

Como se ha explicado previamente, dependiendo de la longitud focal del objetivo, el ángulo de cobertura de la imagen será mayor o menor. Esto determina el número de fotos necesarias para cubrir los 360 grados de visión, teniendo en cuenta que entre dos fotos inmediatamente seguidas debe existir un solapamiento aproximado de un cuarto de foto. En el caso del objetivo usado en este trabajo, el ángulo de cobertura diagonal<sup>14</sup> es de 180 grados. Por la propia forma de la rótula, la orientación de las imágenes es vertical, ocasionando que el ángulo de cobertura vertical sea mayor que el horizontal. El procedimiento acerca de los distintos giros y movimientos que deben realizarse se encuentra ampliamente explicado en el [Anexo VII](#) y se resumen en lo siguiente:

1. Con la cámara vertical, hacer fotos girando sobre el eje vertical.
2. Repetir con la cámara inclinada unos grados hacia arriba y hacia abajo.
3. Hacer fotos del techo, inclinando la cámara completamente hacia arriba.
4. Hacer fotos del suelo a mano, para evitar que salga el trípode o rótula.

---

<sup>13</sup> El formato *RAW*, o ‘crudo’ en inglés, es la forma de obtener la máxima información posible en una foto, sin compresión. Esto permite correcciones más drásticas en edición, con la seguridad que eso conlleva ante los posibles errores.

<sup>14</sup> Diagonal: se cubren 180 grados de visión de una esquina de la foto a la opuesta, lo cual no implica un ángulo de 180 grados de cobertura horizontal, que será, en este caso, menor.

El paso 4 es, quizás, la parte más compleja. Podría ser omitida si no fuera esencial capturar el suelo, de forma que la visita tuviese limitada la inclinación hacia abajo. La solución adoptada por algunas empresas es ocultar el trípode bajo un logotipo o difuminar esa zona. No obstante, en estas pruebas se ha buscado el hacer la experiencia lo más realista posible. El no utilizar trípode, acarrea varios problemas (Fig.12). El cómo evitarlos y las instrucciones específicas pueden encontrarse también en el [Anexo VII](#).



*Figura 12: Foto sin trípode, inevitablemente aparecen las piernas*

Antes de pasar al tratamiento de las fotos, es importante incidir en que la fase de captación de imágenes es crítica y determinante para todo el proceso. Los errores aquí cometidos pueden no ser resueltos más adelante por lo que conviene anticiparse. Es buena idea colocar alguna marca en suelos, mesas y otras superficies muy regulares, para que luego el programa pueda guiarse por ellas; también lo es el evitar tocar el equipo o andar cerca de él durante las tomas para evitar vibraciones, además de asegurarnos que no se mueve durante el registro de una escena al completo. Por último, es importante asegurarse de que la escena está recogida y no se han dejado accidentalmente elementos ajenos a ella.

## **8.2 Corrección y tratamiento de las imágenes**

### **8.2.1 Edición básica inicial**

Como se ha mencionado previamente en el apartado acerca del software necesario, el primer tipo de programa con el que tratar las fotografías es el de edición básica: *Darktable* [5]. Con él, se ha de conseguir mejorar y corregir los posibles errores. El flujo de trabajo, para cada lote que conforma una imagen esférica, es el siguiente: se importan las

imágenes, se escoge la más representativa, se hacen las correcciones pertinentes, se copian esos ajustes, se pegan en el resto de imágenes y se exportan, ya editadas, en formato *Jpeg*<sup>15</sup>.

Como se comentó en la sección 7.2.1, los ajustes y correcciones básicos pretenden conseguir una luminosidad adecuada en toda la imagen, aumentar la nitidez y alcanzar una temperatura de color coherente con la realidad (Fig. 13). De nuevo, los detalles del programa y los pasos a seguir se encuentran en el [Anexo VIII](#).



Figura 13: Ejemplo de corrección de imagen

### 8.2.2. Cómo conformar las panorámicas

El siguiente programa a utilizar se llama *Hugin* [6]. Primero, deberán importarse las imágenes ya corregidas y en formato *Jpeg*. Después, introducir los parámetros específicos a la fotografía 360 y las condiciones iniciales. El programa realizará una primera iteración y se deberá trabajar sobre ella introduciendo nuevas condiciones, incidiendo en las zonas cuyo resultado no sea el adecuado. El proceso finaliza cuando se consiga una proyección rectangular de la esfera, como se apreció anteriormente en la figura 7, sin errores, manchas o discontinuidades. No obstante, al ser una proyección se podrá apreciar un

---

<sup>15</sup> El formato *Jpeg* es una versión comprimida de la imagen. Su uso de aquí en adelante se debe a que ya no se va a editar más la imagen, a que los archivos ocuparán menos y a que presenta una mayor compatibilidad con la mayoría de programas respecto al *RAW* o al *TIFF*.



elevado nivel de distorsión tanto en las zonas del techo como en el suelo, la cual es completamente normal (Fig. 14). En el [Anexo IX](#) se encuentra el proceso explicado más rigurosamente.



*Figura 14: Una de las panorámicas de 360 grados ya finalizada*

### 8.2.3. Ajustes finales de edición

Es posible que al ver la panorámica al completo se quiera hacer un ajuste más fino de las correcciones detalladas en el apartado 8.2.1. Para ello puede acudir, de nuevo, a *Darktable* [5], importando las propias panorámicas. Como el formato de trabajo será, en ese caso, *Jpeg*, no es conveniente hacer grandes cambios ya que pueden repercutir en detrimento de la calidad de imagen. Por otro lado, la vista en conjunto puede permitir apreciar cosas como manchas u objetos que deben ser borrados.

## 8.3. Creación de la visita virtual

Una vez llegado este punto, se debe tener una panorámica, o proyección de fotografía esférica, por cada lugar o escena registrado en la instalación. Para la creación de la visita, se va a hacer uso de un programa online, una web que almacenará todos los datos: *Lapentor* [7]. Será necesario registrarse en la web para crear un perfil, poder realizar las visitas y tener un punto de acceso a las mismas.

El proceso de creación de la visita sigue estos pasos:

1. Importar las imágenes y convertirlas en esferas.
2. En cada una de ellas, seleccionar la vista inicial y los enlaces a otras escenas.
3. Añadir información, imágenes, desplegables o hipervínculos donde sea necesario.
4. Incorporar funciones adicionales como el giroscopio para la visualización en móviles o la adaptación para gafas VR.
5. Compartir el enlace para que el público con acceso a él pueda hacer la visita.

Las visitas creadas quedan guardadas en el perfil, donde se puede acudir para crear otras nuevas, editar las anteriores o duplicar las ya existentes. La posibilidad de duplicar una visita es muy interesante para los objetivos de este trabajo ya que, entre otras cosas, permite tener dos visitas idénticas, pero escogiendo un tipo de información mostrado muy distinto. Por ejemplo, la visita a un centro de transformación puede servir para mostrar los distintos equipos y elementos que la conforman a una clase de Ingeniería Eléctrica. Sin embargo, una vez creada y duplicada la visita, puede editarse esa información y añadir otra más técnica, de forma que sea útil para preparar una parada por mantenimiento y hacerla más efectiva. Para más información sobre la creación de la visita, los pasos a seguir y todas las opciones que ofrece *Lapentor*, consultar el [Anexo X](#).



Figura 15: En naranja, los puntos de desplazamiento y de acceso a información extra

## 9. RESULTADOS

La primera prueba real llevada a cabo corresponde al laboratorio 2.3 del edificio Torres Quevedo, en el Departamento de Ingeniería Eléctrica. A lo largo del trabajo se han ido mostrando algunas imágenes como ejemplo de las fases y correspondían a esta prueba en concreto (Fig. 12-14). El objetivo de esta visita era el de documentar el laboratorio y señalar algunas de sus partes, como demostración de la aplicación docente de la tecnología y metodología estudiada en este trabajo.

En este laboratorio se encuentran almacenados diversos elementos relacionados con el transporte de electricidad en alta y baja tensión, estudiados por los alumnos de distintos grados y máster. Con esta visita virtual se pretende tanto facilitar información a los alumnos como dotar a los profesores de una herramienta distinta para fomentar el trabajo previo a la realización de las prácticas ahí realizadas. Por ello, los ejemplos de información extra que se han incorporado corresponden a diagramas sencillos y a imágenes del interior de equipos cerrados normalmente (Fig. 15 y 16).



*Figura 16: Detalle de la caja de fusibles abierta*

La segunda prueba ha sido en los centros de transformación del Edificio Torres Quevedo. Esta vez, se perseguía dotar a la visita virtual de un carácter formativo más profesional, incluyendo información útil para los técnicos que deban asistir a ella en las tareas de mantenimiento. No obstante, también puede ser utilizada para mostrar un ejemplo real a los alumnos, sin tener que acudir ahí en persona.

En el centro de transformación, además de los dos transformadores principales, se encuentran varios armarios con todos los controles. Con esta visita se ha tratado de

introducir toda la información de los mismos por medio de las imágenes de cada uno agrupadas para poder ampliar sin perder detalle.

Las fotografías panorámicas que conforman cada escena en las visitas virtuales se encuentran en el [Anexo XI](#) y [Anexo XII](#), mientras que los enlaces a las páginas web donde acceder al resultado final son las siguientes:

- Laboratorio: <https://app.lapentor.com/sphere/laboratorio-2-3-torres-quevedo>
- Centro de transformación: <https://app.lapentor.com/sphere/centro-de-transformacion-torres-quevedo>

## **10. POSIBLES MEJORAS**

### **10.1. El equipo**

A lo largo de la realización de las distintas pruebas, se han apreciado distintas deficiencias. La mayoría de ellas, viene dada por las limitaciones de equipo y el software, ya anticipadas en el capítulo sobre selección de las herramientas. Sin embargo, conseguir un equipo con solo algunas funciones mejoradas, supondría incurrir en costes demasiado elevados, no mereciendo la pena y siendo necesario compensarlas con un mayor trabajo. Algunas de las limitaciones clave son:

- Cámara sin formato completo: la amplitud abarcada por el objetivo es menor.
- Distorsión del objetivo: complica la unión de la panorámica.
- Falta de nitidez del objetivo: anula en parte el efecto positivo de la elevada resolución de la cámara y hace que se pueda ampliar menos la imagen manteniendo el nivel de detalle.
- Software de unión de las panorámicas: los programas más comunes para esta tarea, como el *PtGui Pro*, presentan una capacidad superior en lo relativo a los ajustes automáticos. Esto ayuda tanto a reducir los tiempos de procesado como a mejorar el resultado final.

Por todo ello, la mejora más sencilla sería la de conseguir unas herramientas de mayor calidad. Como se ha visto en la comparativa de equipos, los avances en cámaras 360 son importantes, de forma que en un futuro próximo puedan llegar a suponer una alternativa más interesante que el equipo convencional sin aumentar el presupuesto.

## **10.2. La metodología:**

En el proceso experimental inicial, se observaron varios fallos de alineación importantes, imposibles de arreglar con el programa de panorámicas, *Hugin*. Además, el número de fotos era muy elevado. Para solucionar los errores y optimizar la fase de captación de fotografías, se han realizado varias pruebas con distintas distribuciones y variando el número de fotos. De esta forma, se ha reducido el número de imágenes tomadas por escena un 30%, manteniendo un margen de seguridad. Esto se traduce en una reducción de información de hasta un gigabyte en la realización de una visita con seis escenas, de forma que el compilado pueda realizarse con ordenadores menos potentes y en menos tiempo, sin verse alterado el resultado final.

Respecto a los errores, se han achacado a deficiencias en la calibración de la rótula panorámica. Las dimensiones de esta en relación al objetivo obligan a colocar el equipo en la posición más extrema, susceptible a vibraciones, movimientos y la propia flecha del perfil metálico a causa del peso del equipo. Al reducir el número de fotos, se reduce también la cantidad de movimientos a realizar con la cámara y las oportunidades de desalinearse y desajustarse la rótula.

En definitiva, se ha logrado una reducción importante en el número de tomas, el tiempo necesario para fotografiar una instalación, el tamaño del bloque de datos a procesar, el tiempo de proceso y una reducción en el número de errores, así como su gravedad.

## 11. DESARROLLO FUTURO

A lo largo de este trabajo se ha estudiado y demostrado ampliamente la aplicación de la realidad virtual a las visitas a empresas, por lo que el futuro inmediato es la implantación de esta tecnología en los distintos departamentos. Ha de entenderse como una herramienta al alcance de todos, con resultados muy satisfactorios y útiles de forma indefinida en el tiempo. De esta forma, puede usarse para reciclar algunos de los contenidos mostrados en las aulas e innovar, una tarea siempre compleja.

Respecto al proyecto en sí, se está estudiando el continuarlo y realizar una tercera visita en una central de transformación de Endesa, aumentando así la variación de instalaciones documentadas.

Como se ha comentado, la realidad virtual se encuentra en pleno crecimiento y los fabricantes compiten por mejorar las prestaciones de sus productos. Por ello, cabe esperar que en los próximos años, con el desarrollo de las cámaras de acción 360, pueda producirse un cambio muy relevante en las visitas virtuales: introducir el vídeo.

Aunque la fotografía fija es suficiente para representar una instalación estática, no sería tan útil para plasmar líneas de producción, fábricas, plantas u otros lugares con movimiento. Si se tiene en cuenta que en el presente estas cámaras ya permiten grabar vídeos con cierta calidad, en el futuro cabe esperar que las ampliaciones de los mismos, además de ser posibles en tiempo real, no repercutan tan negativamente en la calidad como lo hacen ahora. De esta forma, y no olvidando que debería ir ligado al desarrollo software, podrían hacerse visitas virtuales con movimiento y sonido. En principio, la aplicación más sencilla sería en cadenas de producción continua, representando en cada escena un ciclo. Para conseguir una experiencia virtual completa de cualquier tipo, sería necesario el grabar con varias cámaras de forma paralela, permitiendo posteriormente el desplazarse de la escena capturada por una a otra. Así, un estudiante podría no solo ver todas las máquinas y sus funciones sino los procesos llevados a cabo y la actividad real en la empresa. Respecto a la formación laboral, permitiría a los aprendices ver y reproducir fielmente los pasos de los trabajadores de la visita. Además, de cara a la mejora de la empresa, podría permitir el estudio detallado de cada proceso, facilitar la toma de datos en la realización de VSMs y VSDs y propiciar las buenas prácticas de seguridad.

Las visitas virtuales son, por tanto, un tema de gran interés y con mucho camino por explorar.

## 12. CONCLUSIONES

El principal objetivo de este trabajo era el de ofrecer una herramienta que sustituyera las visitas reales a empresas e incorporase nuevas funciones, con el objetivo de formar a estudiantes y preparar a los trabajadores. Se ha demostrado la necesidad y el amplio interés por una solución de este tipo y cómo el alumnado se muestra receptivo a la alternativa propuesta: la realidad virtual.

Pese a que la realidad virtual era, desde el principio, la manera escogida de abordar el problema, se han estudiado otras opciones, sus ventajas y desventajas. De esta forma, se ha mostrado de manera objetiva la superioridad de esta tecnología en la aplicación de interés.

Esta técnica, además de encontrarse en su punto álgido de desarrollo, se está implantando en varios y muy diferentes sectores. En este trabajo, se ha recogido el inicio de ese desarrollo, mostrando las distintas aplicaciones y extraído la información más relevante para la realización de las visitas.

Se han estudiado los distintos métodos utilizados comúnmente en aplicaciones similares, estableciendo dos vías diferenciadas según el tipo de tecnología de captación de imagen empleada y las fases a atravesar en cada una de ellas.

De manera paralela y en relación con dichas fases, se ha estudiado qué herramientas serían necesarias, cuáles son las más idóneas y cuáles mantienen la mejor relación entre calidad y precio. En consecuencia, se ha seleccionado y comprado el equipo más adecuado dadas las necesidades, con la premisa de mantener un coste reducido, y siendo el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la EINA el encargado de sufragar los gastos. De esta forma, se podrá hacer uso de estas herramientas en futuros proyectos, tanto por los profesores como por los alumnos que desarrollen este trabajo o realicen nuevas visitas.

Con el equipo seleccionado adquirido, ha quedado fijada la vía de trabajo a realizar. Mediante el estudio y, principalmente, la experimentación, se han obtenido conclusiones concretas sobre qué formas de trabajar daban los mejores resultados. Gracias a esto, se ha elaborado una metodología detallada fase por fase, donde se encuentra toda la información necesaria para hacer una visita virtual en cualquier clase de instalación.

Parte de la fase de experimentación se ha realizado en instalaciones reales, con el fin de obtener como resultado visitas virtuales de utilidad. Estos resultados han sido publicados en internet y cualquiera puede acceder a ellos.

El desarrollo de este trabajo, sin embargo, ha presentado algunas incidencias. Las más importantes han sido las ocasionadas por las limitaciones del equipo y la falta de concreción por parte de las empresas. En el primer caso, ha sido necesario ralentizar el proceso para conseguir las imágenes sin errores, adaptar la técnica e invertir más tiempo y trabajo en el procesado. En el segundo, cabe destacar que existe un gran interés por parte de estas empresas hacia los resultados que ofrece esta tecnología, tanto para las visitas exteriores como para el uso interno dirigido a los trabajadores. Sin embargo, el no haber realizado múltiples visitas a empresas reales se ha debido a la gran dificultad para acordar una cita, siendo muy complejo el acceder a una instalación industrial y, especialmente, a aquellas que trabajen con grandes medidas de seguridad.

Estos dos últimos aspectos, el gran interés por parte de las empresas y las dificultades para visitarlas, son la clara prueba de la utilidad y necesidad de trabajar con la realidad virtual en la elaboración de visitas virtuales.



### 13. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón - i3A». [En línea]. Disponible en: <http://i3a.unizar.es/datos/grupo/giga-11>. [Accedido: 6-oct-2019].
- [2] «ITAINNOVA - Realidad virtual». [En línea]. Disponible en: <https://www.itainnova.es/blog/tag/realidad-virtual/>. [Accedido: 6-oct-2019].
- [3] «ITAINNOVA - Realidad Virtual y aumentada». [En línea]. Disponible en: <https://www.itainnova.es/es/formacion/1888-inaem-realidad-virtual-y-aumentada>. [Accedido: 13-oct-2019].
- [4] «Centro de Tecnologías Avanzadas de Zaragoza | INAEM». [En línea]. Disponible en: <https://inaem.aragon.es/centro-de-tecnologias-avanzadas-de-zaragoza>. [Accedido: 13-oct-2019].
- [5] «Darktable - The photo workflow software». [En línea]. Disponible en: <https://www.darktable.org>. [Accedido: 11-jul-2019].
- [6] «Hugin - Panorama photo stitcher». [En línea]. Disponible en: <http://hugin.sourceforge.net/> [Accedido: 11-jul-2019].
- [7] «Lapentor - Free Virtual Tour software». [En línea]. Disponible en: <https://lapentor.com/>. [Accedido: 09-oct-2019].
- [8] «El presidente de Castilla-La Mancha visita la empresa “Prefabricados Madrigueras” (con vídeo) - 15/04/2019 Región | Diario La Comarca de Puertollano». [En línea]. Disponible en: [https://www.lacomarcadepuertollano.com/diario/noticia/2019\\_04\\_15/32](https://www.lacomarcadepuertollano.com/diario/noticia/2019_04_15/32). [Accedido: 6-nov-2019].
- [9] «BIM GIANTS: Robotic reality capture, gaming systems, virtual reality—AEC Giants continue tech frenzy», *Building Design + Construction*. [En línea]. Disponible en: <https://www.bdcnetwork.com/giants-300-report-robotic-reality-capture-gaming-systems-virtual-reality-aec-giants-continue-tech>. [Accedido: 6-nov-2019].
- [10] «OHSAS 18001:2007. Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo | AENOR». [En línea]. Disponible en: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscar-libros/detalle?c=4032>. [Accedido: 22-oct-2019].
- [11] «The Importance of Arc Flash Protection», *PK Safety Supply*. [En línea].

Disponible en: <https://pksafety.com/blog/the-importance-of-arc-flash-protection>. [Accedido: 6-nov-2019].

- [12] «Realidad aumentada en Industria 4.0: el futuro de las fábricas inteligentes, Neosentec» [En línea]. Disponible en: <https://www.neosentec.com/realidad-aumentada-en-la-industria-4-0/>. [Accedido: 25-sep-2019].
- [13] «7 Ventajas de la realidad aumentada en empresas», Neosentec, 29-nov-2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.neosentec.com/7-ventajas-realidad-aumentada-empresas/>. [Accedido: 25-sep-2019].
- [14] I. Ramírez, «11 apps que le sacan todo el partido a la realidad aumentada en tu móvil», *Xataka Móvil*, 28-sep-2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.xatakamovil.com/aplicaciones/11-apps-que-le-sacan-todo-partido-a-realidad-aumentada-tu-movil>. [Accedido: 25-sep-2019].
- [15] «El futuro de los formularios está aquí | Typeform», *Free Beautiful Online Survey & Form Builder*. [En línea]. Disponible en: <https://www.typeform.com/es/producto/>. [Accedido: 15-nov-2019].
- [16] «HMD – History and objectives of inventions | glassdevelopment». [En línea]. Disponible en: <https://glassdevelopment.wordpress.com/2014/04/17/hmd-history-and-objectives-of-inventions/>. [Accedido: 16-sep-2019].
- [17] «¿Qué es la realidad virtual? - Historia, funcionamiento y gafas VR. Mundo Virtual», *Mundo Virtual*. [En línea]. Disponible en: <http://mundo-virtual.com/que-es-la-realidad-virtual/> [Accedido: 16-sep-2019]
- [18] «Realidad Virtual & Realidad Aumentada: Historia de la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada.», *Realidad Virtual & Realidad Aumentada*, 21-jun-2013. Disponible en: <http://realidadva.blogspot.com/2013/06/historia-de-la-realidad-virtual-y-la.html> [Accedido: 16-sep-2019]
- [19] «Sensorama | IDIS». Disponible en: <https://proyectoidis.org/sensorama/>. [Accedido: 16-sep-2019]
- [20] A. Mansell y D. M. Specialist, «5 Uses for Virtual Reality». [En línea]. Disponible en: <https://www.fdmgroup.com/5-uses-for-virtual-reality/>. [Accedido: 16-sep-2019].

- [21] «Applications Of Virtual Reality», *Virtual Reality Society*, 05-may-2017. Disponible en: <http://mundo-virtual.com/que-es-la-realidad-virtual/>. [Accedido: 20-sep-2019]
- [22] «Fotografías panorámicas, como hacerlas, accesorios necesarios y técnica.», *Manuel Portillo Fotografía*, 11-feb-2015. Disponible en: <https://www.manuelportillo.com/fotografia-panoramica/>. [Accedido: 29-sep-2019]
- [23] «Guía Detallada: Cómo Tomar Una Foto Panorámica», *Blog del Fotógrafo*, 19-may-2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.blogdelfotografo.com/como-tomar-fotos-panoramicas/>. [Accedido: 3-oct-2019].
- [24] «Development of Sphere Gore Method | ClipArt ETC». [En línea]. Disponible en: [https://etc.usf.edu/clipart/76500/76570/76570\\_dev-sphgore.htm](https://etc.usf.edu/clipart/76500/76570/76570_dev-sphgore.htm). [Accedido: 23-oct-2019].
- [25] «This Widest-Ever 4.9mm Fisheye Lens Can See Behind Itself». [En línea]. Disponible en: <https://petapixel.com/2019/02/20/this-4-9mm-hyperfisheye-prototype-lens-can-see-behind-itself/>. [Accedido: 06-oct-2019].
- [26] «Canon EOS 4000D Camara Con Objetivo EF-S 18-55mm III, 18 MP, Negro: Canon: Amazon.es: Electrónica». [En línea]. Disponible en: [https://www.amazon.es/Canon-EOS-4000D-inteligente-autom%C3%A1tica/dp/B07B9RXC8M/ref=asc\\_df\\_B07B9RXC8M/?tag=googshopes21&linkCode=df0&hvadid=198983437904&hvpos=1o2&hvnetw=g&hvrand=11713477369002529424&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmld=&hvlocint=&hvlocphy=1005548&hvtargid=pla-461758467354&th=1](https://www.amazon.es/Canon-EOS-4000D-inteligente-autom%C3%A1tica/dp/B07B9RXC8M/ref=asc_df_B07B9RXC8M/?tag=googshopes21&linkCode=df0&hvadid=198983437904&hvpos=1o2&hvnetw=g&hvrand=11713477369002529424&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmld=&hvlocint=&hvlocphy=1005548&hvtargid=pla-461758467354&th=1). [Accedido: 08-oct-2019].
- [27] «Insta360 ONE X - Videocámara 360° con Resolución de Video 5.7K, Fotos de 18 Megapíxeles, con Estabilizador FlowState, Conexión WiFi en Tiempo Real Compatible con iOS y Android, Bullet-time en 3K: Amazon.es: Electrónica». [En línea]. Disponible en: [https://www.amazon.es/insta360-estabilizaci%C3%B3n-FlowState-Separado-microSDXC/dp/B07GXBYYWN/ref=sr\\_1\\_1\\_sspa?\\_\\_mk\\_es\\_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=22VYC5L7GOE1&keywords=insta360+one+x&qid=1573200436&srefix=insta%2Caps%2C343&sr=8-1-spons&pssc=1&smid=A670UR27O305C&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUEyS0oyTzQ4NUk3SUhJJmVuY3J5cHRlZElkPUEwMTAzMzY4M0lZQlEzMtIWIUUFFMWiZlbnNyeXB0ZWZlZElkPUEwMTc2MTIxMzYzWE9VRFBRVldZTYzZaWRnZXROYW1lPXNwX2F0ZiZhY3Rpb249Y2xpY2tSZWRpcmVjdCZkb05vdExvZ0NsaWNRPXRydWU=](https://www.amazon.es/insta360-estabilizaci%C3%B3n-FlowState-Separado-microSDXC/dp/B07GXBYYWN/ref=sr_1_1_sspa?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=22VYC5L7GOE1&keywords=insta360+one+x&qid=1573200436&srefix=insta%2Caps%2C343&sr=8-1-spons&pssc=1&smid=A670UR27O305C&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUEyS0oyTzQ4NUk3SUhJJmVuY3J5cHRlZElkPUEwMTAzMzY4M0lZQlEzMtIWIUUFFMWiZlbnNyeXB0ZWZlZElkPUEwMTc2MTIxMzYzWE9VRFBRVldZTYzZaWRnZXROYW1lPXNwX2F0ZiZhY3Rpb249Y2xpY2tSZWRpcmVjdCZkb05vdExvZ0NsaWNRPXRydWU=). [Accedido: 08-oct-2019].

- [28] «Formato completo Vs APS-C». [En línea]. Disponible en: <https://www.xatakafoto.com/actualidad/somos-capaces-de-distinguir-una-foto-hecha-con-una-camara-full-frame-de-otra-tomada-con-una-aps-c>. [Accedido: 07-oct-2019].
- [29] Ó. Condés, «Las siete claves para elegir bien un segundo objetivo para tu cámara», *Xataka Foto*, 21-feb-2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.xatakafoto.com/trucos-y-consejos/las-siete-claves-para-elegir-bien-un-segundo-objetivo-para-tu-camara>. [Accedido: 06-oct-2019].
- [30] «Todo Lo Que Necesitas Saber Sobre La Distancia Focal de Tu Objetivo», *Blog del Fotógrafo*, 14-abr-2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.blogdelfotografo.com/distancia-focal/>. [Accedido: 06-oct-2019].
- [31] «Focal Length Comparison Tool». [En línea]. Disponible en: <http://morn91.github.io/exx/focal-length/>. [Accedido: 16-nov-2019].
- [26] «The best monopods, tripods and more to stabilize your 360 shots», *Immersive Shooter*, 29-sep-2017. Disponible en: <https://www.immersiveshooter.com/2017/09/29/best-monopods-tripods-stabilize-360-shots/>. [Accedido: 10-oct-2019].
- [33] «ZOMEi M8 Professional Aluminum Alloy Trípode Monopods with 360 Degree Panoramic Ball Head For Canon Nikon DSLR Cameras 192 Centimeters: Amazon.es: Electrónica». [En línea]. Disponible en: <https://www.amazon.es/Professional-Aluminum-Monopods-Panoramic-Centimeters/dp/B0746HXPQX?th=1>. [Accedido: 18-oct-2019].
- [27] Ben, rews April 12, y 2019 Buying Guides, «The best panoramic tripod heads», *digitalcameraworld*. [En línea]. Disponible en: <https://www.digitalcameraworld.com/buying-guides/the-best-panoramic-tripod-heads>. [Accedido: 06-oct-2019].
- [35] «Ajustar el Paralaje o Parallax Adjustments - Web Oficial de Francis Ortiz». [En línea]. Disponible en: <http://www.francisortiz.biz/panoramicas/-que-es-la-fotografia-panoramica/ajustarelparalajeoparallaxadjustments>. [Accedido: 15-nov-2019].
- [36] «La importancia del revelado: Lightroom y alternativas», *the imagen*, 07-dic-2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.theimagen.com/la-importancia-del-revelado-lightroom-alternativas/>. [Accedido: 06-oct-2019].
- [37] «Mejores alternativas a Adobe Lightroom para editar fotos profesionalmente». [En

- línea]. Disponible en: <https://eloutput.com/noticias/aplicaciones/alternativas-adobe-lightroom-editor-fotos/>. [Accedido: 06-oct-2019].
- [38] «Panorama Software», *360 Facil*. [En línea]. Disponible en: </esp/panorama-software.php>. [Accedido: 06-oct-2019].
- [39] «Top 8 softwares alternativos a PTGUI que te permiten realizar fotos de 360 | VeeR VR Blog». Disponible en: <https://veer.tv/blog/es/top-8-softwares-alternativos-a-ptgui-que-te-permiten-realizar-fotos-de-360/>. [Accedido: 25-sep-2019]
- [40] «360° VR Panoramic Photography & 360° Video – Tutorials & Resources :: IVRPA». [En línea]. Disponible en: <https://ivrpa.org/about-ivrpa/360-vr-photography-360-video-resources/>. [Accedido: 06-nov-2019].
- [41] «Programas para [hacer Tours Virtuales gratis en 2019]», *DisCorp.es Diseño de Páginas Web y Diseño Gráfico*, 28-sep-2018. Disponible en: <https://discorp.es/programas-para-hacer-tours-virtuales-gratis-en-2019/> [Accedido: 25-sep-2019]
- [42] «Neewer Pro 8mm f/3.5 Aspherical HD Fisheye Lens for Nikon DSLR 8-8mm», *neewer.com*. [En línea]. Disponible en: <https://neewer.com/products/lenses-filters-10088615>. [Accedido: 7-oct-2019].
- [45] «Neewer Rótula Cabeza de Bola Profesional: Amazon.es: Electrónica». [En línea]. Disponible en: [https://www.amazon.es/Neewer-Panor%C3%A1mica-Profesional-Panor%C3%A1mico-Indizaci%C3%B3n/dp/B07DQ71GNV/ref=sr\\_1\\_3?\\_\\_mk\\_es\\_ES=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=neewer+rotula+panoramica&qid=1572288244&sr=8-3](https://www.amazon.es/Neewer-Panor%C3%A1mica-Profesional-Panor%C3%A1mico-Indizaci%C3%B3n/dp/B07DQ71GNV/ref=sr_1_3?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=neewer+rotula+panoramica&qid=1572288244&sr=8-3). [Accedido: 8-oct-2019].
- [44] «+30 Trípodes Fotográficos Recomendados en 2019», *dzoom*. [En línea]. Disponible en: <http://www.dzoom.org.es/tripodes-recomendados/>. [Accedido: 19-oct-2019].
- [45] «Here's how to shoot high dynamic range images using (almost) any camera», *Digital Trends*, 31-jul-2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.digitaltrends.com/photography/what-is-hdr-photography/>. [Accedido: 18-oct-2019].
- [46] J. Maturana, «Llega Omni, grabar contenido 360 8K con seis cámaras GoPro ya es posible», *Xataka*, 13-ago-2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/fotografia-y-video/llega-omni-grabar-contenido-360-8k-con-seis-camaras-gopro-ya-es-posible>. [Accedido: 07-nov-2019].

- [47] «YI HALO VR Cámara 3D 360» Productos electrónicos on AliExpress [En línea]. Disponible en: [https://es.aliexpress.com/item/32835202184.html?src=ibdm\\_d03p0558e02r02&sk=&aff\\_platform=&aff\\_trace\\_key=&af=&cv=&cn=&dp=](https://es.aliexpress.com/item/32835202184.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp=). [Accedido: 07-nov-2019].
- [48] «YI HALO VR Camera | YI Technology». [En línea]. Disponible en: <https://www.yitechnology.com/yi-halo-vr-camera-specs>. [Accedido: 07-nov-2019].
- [49] «Matterport Pro2 3D Camera | Escáner 3D | Visita virtual». [En línea]. Disponible en: <https://matterport.com/es/pro2-3d-camera/>. [Accedido: 06-nov-2019].
- [50] «Matterport | 3D para el mundo real». [En línea]. Disponible en: <https://buy.matterport.com/es>. [Accedido: 06-nov-2019].
- [51] «Insta360 Pro 2 - Cámara 3D 8K Profesional - Amazon.es: Electrónica». [En línea]. Disponible en: <https://www.amazon.es/Insta360-Pro-2-0-Videoc%C3%A1mara-Integrado/dp/B07GPRGMP4>. [Accedido: 06-nov-2019].
- [52] «Nodal Ninja 3 NN3 MK3 Pkg Panorama Head», *PanoSociety*. [En línea]. Disponible en: <https://panosociety.com/products/nodal-ninja-3-nn3-mk3-nadir-rotator>. [Accedido: 09-nov-2019].
- [53] «LEOFOTO LEP-02 Panorama Photos». [En línea]. Disponible en: <https://www.photoshop-becker.de/LEOFOTO-LEP-02-Panorama-Kopf-Nodalpunktadapter-Zwei-Wege>. [Accedido: 09-nov-2019].
- [54] «Rollei Panoramic Head 200 Mark II: Amazon.es: Electrónica». [En línea]. Disponible en: <https://www.amazon.es/Rollei-Panoramic-Head-200-Mark/dp/B0778TZV26>. [Accedido: 09-nov-2019].
- [55] «Novoflex VR-Pro II - Rotula panorámica: Amazon.es: Electrónica». [En línea]. Disponible en: [https://www.amazon.es/Novoflex-VR-PRO-II-Rotula-panor%C3%A1mica/dp/B001M361VG/ref=sr\\_1\\_15?\\_\\_mk\\_es\\_ES=%C3%85M%C3%85C5BD%C3%95%C3%91&keywords=novoflex&qid=1573326393&s=electronics&sr=1-15](https://www.amazon.es/Novoflex-VR-PRO-II-Rotula-panor%C3%A1mica/dp/B001M361VG/ref=sr_1_15?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85C5BD%C3%95%C3%91&keywords=novoflex&qid=1573326393&s=electronics&sr=1-15). [Accedido: 09-nov-2019].
- [56] «Andoer ph-720b 720 ° rótula panorámica: Amazon.es: Electrónica». [En línea]. Disponible en: [https://www.amazon.es/Andoer-panor%C3%A1mica-Arca-Swiss-liberaci%C3%B3n-transporte/dp/B078PLN77V/ref=pd\\_sbs\\_107\\_6/258-0226984-](https://www.amazon.es/Andoer-panor%C3%A1mica-Arca-Swiss-liberaci%C3%B3n-transporte/dp/B078PLN77V/ref=pd_sbs_107_6/258-0226984-)

2262758?\_encoding=UTF8&pd\_rd\_i=B078PLN77V&pd\_rd\_r=7426f73b-eb49-4f88-90bc-7bbeea973660&pd\_rd\_w=vuiHG&pd\_rd\_wg=Vdih4&pf\_rd\_p=43c87647-f7de-41c8-9171-1af32d56c406&pf\_rd\_r=JDC8S017AZVQJ8QEPH9C&psc=1&refRID=JDC8S017AZVQJ8QEPH9C. [Accedido: 09-nov-2019].

[46] «Stops, Pupils, and Apertures». [En línea]. Disponible en: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/geoopt/stop.html>. [Accedido: 27-oct-2019].

[58] Superlumen, «¿Qué es el paralaje y como afecta al vídeo 360? | Superlumen», *Superlumen | Imagen360 - Vídeo 360 - Experiencia Inmersiva*. Disponible en: [https://superlumen.es/que-es-paralaje-como-afecta-al-video-360/nodal\\_close/](https://superlumen.es/que-es-paralaje-como-afecta-al-video-360/nodal_close/) [Accedido: 27-oct-2019].

[59] S. Díaz, «Cómo encontrar el punto de no paralelaje: Truco exprés», *Xataka Foto*, 28-jul-2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.xatakafoto.com/trucos-y-consejos/como-encontrar-el-punto-de-no-paralelaje-truco-expres>. [Accedido: 05-nov-2019].

[60] «HyperFocal Pro - Aplicaciones en Google Play». [En línea]. Disponible en: <https://play.google.com/store/apps/details?id=in.zendroid.hyperfocal&hl=es>. [Accedido: 05-nov-2019].

[61] «Calculador de Exposiciones - Aplicaciones en Google Play». [En línea]. Disponible en: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.quicosoft.exposurecalculator.app&hl=es>. [Accedido: 17-nov-2019].

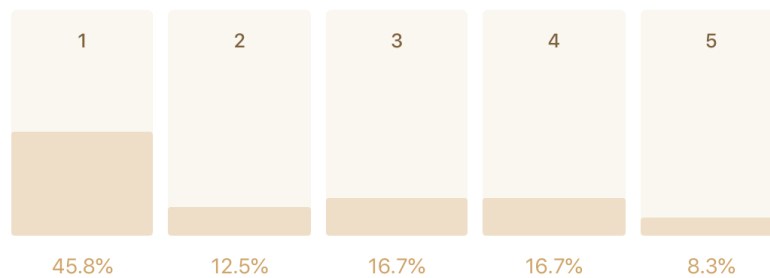
## ANEXO I: RESULTADOS DEL CUESTIONARIO

# 1 ¿Cuántas empresas o instalaciones relacionadas con tus estudios has visitado durante el grado? No incluir las visitas por cuenta propia.

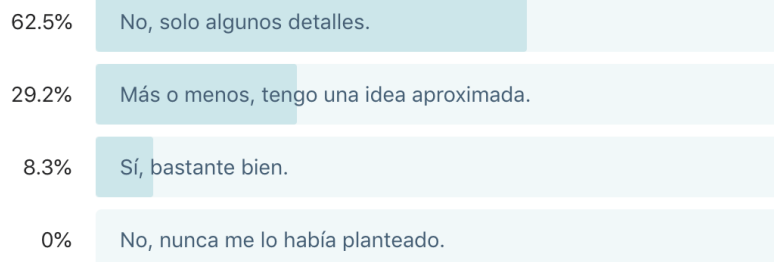
Exportando los datos a una hoja de cálculo, se obtiene promedio = 2,08 visitas.

★ 2 ¿Cuál es tu nivel de satisfacción al respecto?

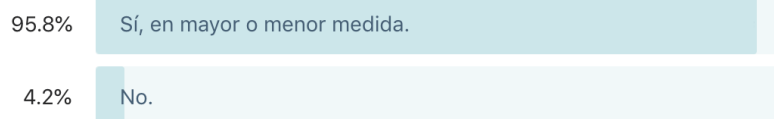
Promedio 2.3



✓ 3 ¿Crees que conoces bien los distintos lugares donde desarrollarás tu carrera profesional?

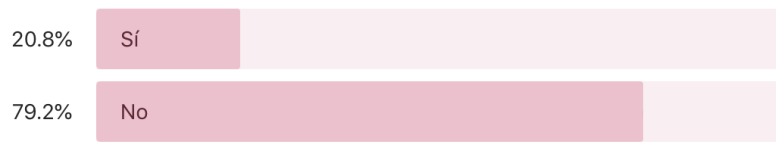


✓ 4 ¿Consideras importantes estas visitas para tu formación?





**5** En la actualidad, son muchos los factores que dificultan el acceso a empresas e instalaciones industriales. ¿Crees que los medios empleados por los docentes pueden sustituir las visitas? (Fotos, vídeos, explicaciones...)

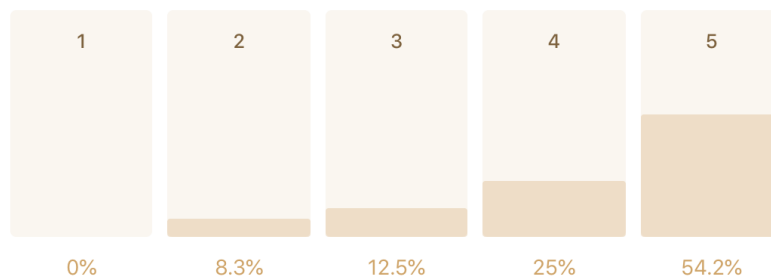


**6** ¿Crees que la realidad virtual es una alternativa mejor? Permitiría recorrer virtualmente de forma ilimitada y gratuita las instalaciones, acceder a información extra de cada equipo y preparar a los alumnos para situaciones reales. La visita podría hacerse mediante gafas VR, el ordenador o el móvil.



**7** Por último... ¿te gusta la idea?

Promedio 4.2



Figuras (7-14): Capturas de pantalla de los resultados de la encuesta.

## ANEXO II: COMPARATIVA DE EQUIPOS

### Equipos de captación de imagen







Aspecto	Marca	Modelo	Resolución	Precio
	Go Pro	OMNI	12x12 Mp	5.400 €
	Mediante una estructura de sólo 380 gramos y un software específico, se mantienen unidas y sincronizadas 6 cámaras de acción GoPro Hero 4, de forma que se consigue una calidad muy superior a las cámaras 360 de acción.			
	Xiaomi/Google	YI HALO VR	12x17 Mp	8.500 €
	Mediante una estructura y un software específico, este rig de 3,5kg consigue unos muy buenos resultados y presenta una autonomía de hasta 100 minutos en grabación de vídeo, aspecto para el que ha sido diseñada principalmente.			
	Matterport	Pro2 3D	134Mp	3.180 €
	Pese a sus dimensiones, es una de las cámaras que más destaca en la fotografía del interior de viviendas. Sus características más especiales son la posibilidad de ir tomando medidas de las habitaciones y el giro automático para captar la escena. Consta de un software que permite exportar las imágenes y los planos.			
	Leica	BLK360	34 Mp	15.995 €
	Aunque es diseñada como escáner con fines arquitectónicos, esta cámara permite también captar imágenes al girar de forma automática, generando fotografías de 360°. Destaca por su precisión, al utilizar medición por láser, y por poder exportar los planos a plataformas como revit, así como medir de forma virtual cualquier parte del espacio.			
	Insta360	ONE X	18 Mp	460 €
	Esta cámara nace como innovación frente a las cámaras de acción. Su principal característica es su bajo peso, reducidas dimensiones y las dos lentes que captan la imagen 360, exportando la toma ya unida. Introduce, además, la posibilidad de grabar vídeo y de ser controlada de forma remota con el móvil.			
	Insta360	Pro 2	60 Mp	5.550 €
	Este modelo unibody utiliza 6 lentes, tiene un peso total de 1,5 kg y está pensada para el entorno profesional, tanto de foto como de vídeo. Permite la captura en alto rango dinámico (HDR) y exporta la imágenes ya unidas entre sí.			
	Canon	EOS 4000D	18 Mp	280 €
	Es una cámara reflex convencional de gama baja, que incluye en el precio una lente zoom de distancias focales estándar, pero que no es idónea para la fotografía 360. Es necesario adquirir la lente por separado. Permite usarse con todos los automatismos o de forma completamente manual, imprescindible para obtener los resultados buscados.			

Tabla 3: Equipos de captación de imagen: [26], [27], [46]–[51] y elaboración propia

## Objetivos súper angular u ojo de pez

	Canon		Nikon
	8-15mm f4		8-15mm f3.5-4.5
	FF y APSC		FF y APSC
	1.170 €		1.250 €
	Sigma		Samyang
	8mm f3.5		8mm f3.5
	FF y APSC		APSC
	770 €		250 €
	Neewer	<i>Tabla 4: Opciones de compra en objetivos [33]–[37] y elaboración propia</i>	
	8mm f3.5		
	APSC		
	130 €		

## Rótulas panorámicas

	Nodal Ninja		Leofoto
	NN3 Mk3		Lep-02
	240 €		400 €
	Rollei		Novoflex
	200 MkII		VR-Pro II
	150 €		670 €
	Andoer		Neewer
	PH-720b		Rótula original 3kg
	120 €		40 €

Tabla 5: Opciones de compra en rótulas panorámicas [43], [52]–[56] y elaboración propia.

### ANEXO III: CÓMO MONTAR LA RÓTULA PANORÁMICA

En primer lugar, es conveniente señalar que algunas de las piezas llevan grasa para mejorar la suavidad de los movimientos, por lo que hay que tener cuidado para no mancharse. Por otro lado, este corresponde a un montaje preliminar, susceptible de ajustes posteriores a la hora de encontrar la pupila del objetivo (Anexo III).

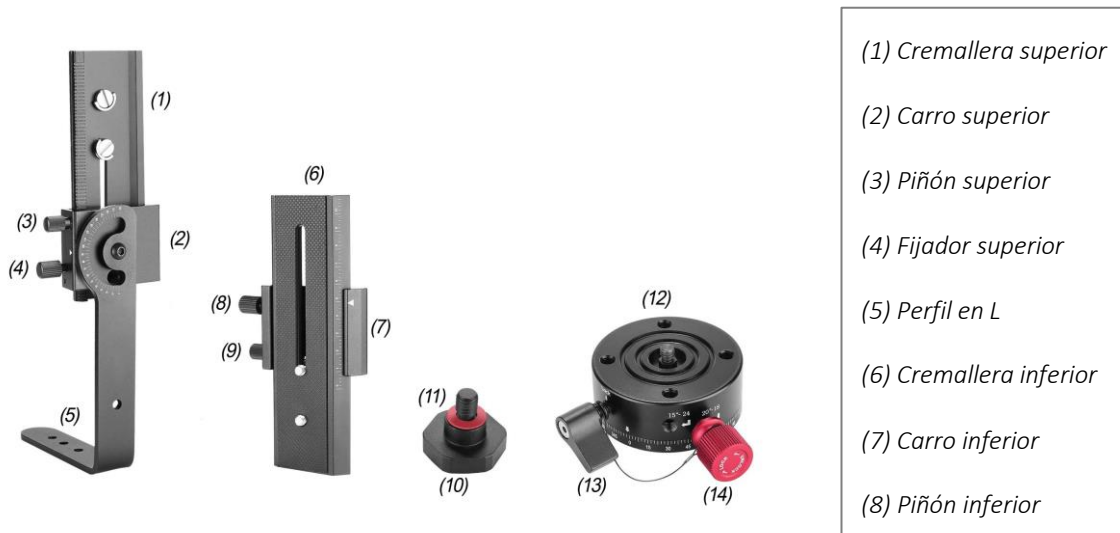


Figura 15: Elaboración personal y [43]

Pasos para el montaje del equipo:

1. Extraer de la caja todas las piezas y comprobar que no falta ninguna (Fig. ).
2. Unir, mediante el tornillo pasante móvil, el conjunto carro-cremallera inferior al perfil en L, utilizando el agujero central del lado más corto del perfil. Se propone usar el tornillo guiado, ya que hace más fácil el ajuste óptimo.
3. Roscar el tornillo de ajuste con su arandela, a través de la ranura semicircular del perfil, en el carro superior.
4. Unir la base a la rótula del propio trípode, de forma que ambos estén alineados.
5. Accionando los tornillos de los piñones, desplazar los carros hasta una posición que permita colocar la cámara en su lugar, quedando accesible el tornillo que ha de fijarla.
6. Asegurar todos los tornillos para evitar todo movimiento y montar la cámara en cualquiera de los dos tornillos de la cremallera superior.



Figura 16: montaje final [43]

#### ANEXO IV: CÓMO ENCONTRAR LA PUPILA DE ENTRADA

La pupila de entrada de una lente es el punto que debe encontrarse alineado con el eje de giro al colocarse la cámara en la rótula panorámica para evitar el *error de paralaje* [22], [57]. Este error consiste en la falta de alineación entre dos elementos al realizar la rotación de 360 grados. El encontrar este punto y, en consecuencia, situar adecuadamente la cámara respecto al trípode, permitirá procesar las imágenes posteriormente y obtener los mejores resultados. De no hacerlo, pueden existir incongruencias entre las imágenes que imposibiliten las tareas de unión y solapamiento por el software dedicado a ello, siendo inservibles las imágenes. Por tanto, es imprescindible detenerse en este paso antes de comenzar a fotografiar.

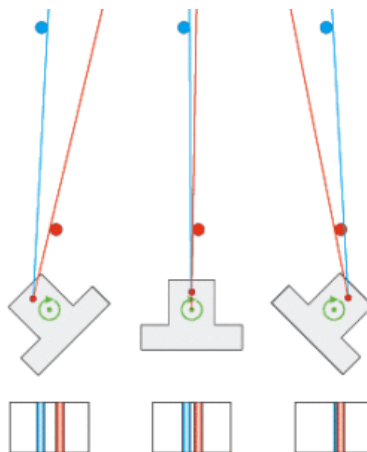


Figura 16: Error de paralaje, los dos puntos deberían aparecer alineados en todas las fotos [58]

Como se ha visto en el Anexo II, la rótula panorámica cuenta con dos carros que se desplazan por dos raíles. Estos, están diseñados para poder situar la cámara en la posición correcta, variando según el modelo y las dimensiones del objetivo. El proceso de posicionamiento cuenta con dos fases [59].

1.º - Alineamiento vertical. En primer lugar, debe girarse la cámara para que apunte hacia abajo, completamente vertical. Con ayuda del carril horizontal inferior, se ha de situar el centro del objetivo sobre el eje de rotación. Para lograr unos resultados más precisos, puede desplazarse el carro superior hasta que la lente se encuentre a pocos milímetros de la base, donde se pueden encontrar varias referencias del centro de la misma. Es imprescindible que la propia base esté centrada sobre la rótula del trípode.



*Figura 17: alineamiento vertical [35]*

2.º - Alineamiento horizontal. En segundo lugar, colocando la cámara horizontal, se ha de trabajar de forma concreta en evitar el error de paralaje. La forma de lograrlo es localizando en la escena dos elementos, uno cercano y otro lejano, y posicionar el trípode de forma que se muestren alineados en la pantalla. A continuación, se hará girar la cámara sobre la base de la rótula panorámica y observar si la alineación se mantiene. En caso contrario, se deberá ajustar la posición del carro superior. No es necesario realizar estos

pasos en la posición donde se van a realizar las fotos, sino que puede escoger una zona donde existan elementos a alinear o puedan ser situados de forma artificial.

Pese a ser un proceso de prueba y error, puede reducirse el número de iteraciones necesarias si colocamos el primer cristal del objetivo adelantado unos milímetros respecto del eje de rotación. En el caso concreto del objetivo empleado en este trabajo, su gran tamaño obliga a situar la cámara cerca de la posición más extrema, de forma que es necesario hacer uso de uno de los tornillos de los extremos en lugar del situado en el raíl.



*Figura 18: alineamiento horizontal [35]*

## ANEXO V: LA APERTURA Y LA DISTANCIA DE ENFOQUE HIPERFOCAL

La longitud focal y la apertura máxima son los dos parámetros más importantes a la hora de caracterizar un objetivo. Estos dependen de muchos factores, como la distancia entre los cristales o la distribución de los mismos en grupos ópticos. Los objetivos *zoom* son aquellos que pueden variar su longitud focal, mientras que los *fijos* no. En este trabajo, como se ha comentado en la sección de equipamiento, se ha trabajado con un objetivo fijo de longitud focal igual a 8 milímetros y apertura máxima igual a f3,5.

Conocidos estos dos parámetros, se procede a explicar el concepto de hiperfocal. Según la distancia focal del objetivo, para un determinado valor de apertura, existirá una profundidad de campo determinada. Es decir, el rango de distancias a la cámara que se encuentren enfocadas dependerá de esos dos factores. Si se enfoca el objetivo a la llamada distancia hiperfocal, el resultado será una imagen enfocada desde el infinito hasta un valor igual a la mitad de dicha distancia.

Al trabajar en entornos cerrados, es imprescindible que se encuentren dentro de foco tanto los elementos más cercanos como los más alejados. Para ello, se escoge un valor de apertura tal que la distancia hiperfocal resultante abarque el rango de distancias, o profundidad de campo, necesario. Esto puede hacerse utilizando cualquiera de las numerosas aplicaciones gratuitas, tablas de cálculo o páginas web online. En este trabajo, se ha utilizado *HyperFocal Pro* [60], instalada en un teléfono móvil. En la figura 19 se muestra uno de los cálculos realizados en una de las pruebas, con una apertura f11 y enfocando a una distancia de 70 cm. Con el programa, se comprueba que, con esos parámetros, el rango de distancias enfocadas abarca lo necesario. Pese al valor de la distancia hiperfocal, el enfoque se ha hecho a 70 cm al ser esa la distancia donde se encontraban los elementos más interesantes de la visita, para obtener ahí la máxima nitidez.

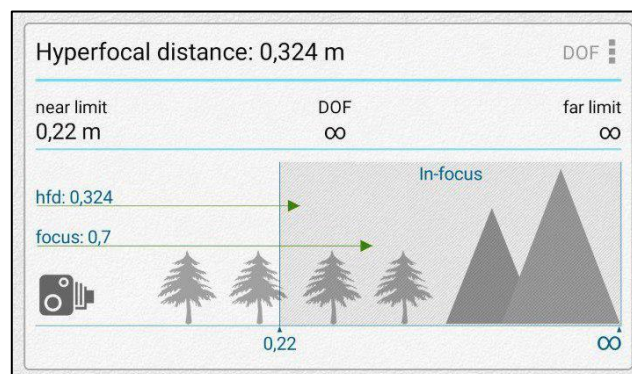


Figura 19: Captura de la salida de HyperFocal Pro [60]



## ANEXO VI: DETERMINAR LA EXPOSICIÓN MEDIA

En cada una de las panorámicas necesarias para crear las imágenes 360, se va a acabar por cubrir todo el espacio en una única imagen. Dicha imagen, al igual que la escena real, presentará zonas más iluminadas y otras más oscuras. Por ello, a la hora de seleccionar los parámetros para determinar la exposición o luminosidad, debe escogerse un valor medio. De esta forma, no existirán zonas demasiado oscuras ni demasiado iluminadas, con el fin de conseguir el máximo nivel de detalle posible.

El conjunto de parámetros escogidos deberá ser el mismo en todas las tomas necesarias para crear la panorámica, de forma que exista una homogeneidad general y no se aprecien cambios entre una y otra, siendo inapreciables los límites en la imagen final. Estos parámetros son los siguientes: velocidad de obturación, apertura de diafragma, sensibilidad ISO, distancia de enfoque y temperatura de color.

La forma adecuada de seleccionar el valor de exposición es colocando la cámara en modo manual e introduciendo los parámetros escogidos de apertura y distancia de enfoque (Ver [Anexo V](#)). A continuación, fijar la sensibilidad ISO más baja que permita la cámara, para asegurar la mayor calidad, y un valor de temperatura de color adecuado al tipo de iluminación. De esta manera, solo faltaría por determinar el tiempo de exposición. Para ello, debe apuntarse la cámara a una zona que represente un valor intermedio de iluminación y hacer una medida. Deberá aumentarse o reducirse el tiempo de exposición hasta que el indicador se encuentre centrado (Fig. 20). Una vez logrado, deberá repetirse el proceso para la zona más oscura y la más iluminada de la escena, apuntando el valor medio entre ambas. Dicho valor será el introducido en la cámara y, al igual que el resto de parámetros, no deberá ser modificado hasta acabar todas las fotos que conformarán cada imagen 360.

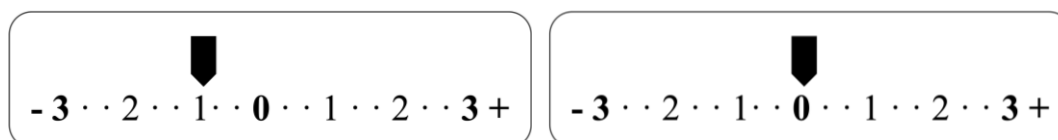
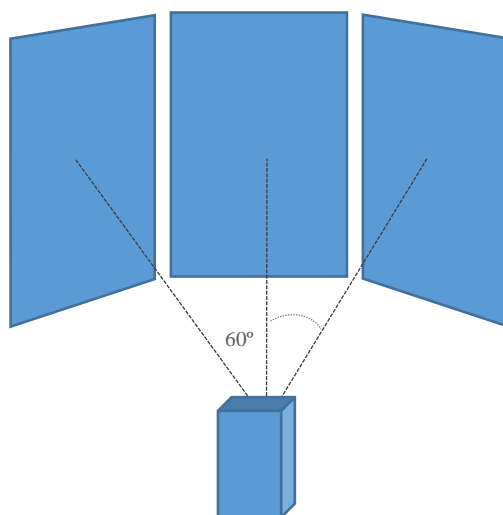


Figura 20: ejemplo de subexposición (izquierda) y exposición correcta (derecha)

En caso de que el tiempo sea excesivo, puede aumentarse la sensibilidad ISO hasta que este se encuentre dentro de valores razonables del orden de 1/50 a 1 segundo. Esto es importante para evitar que las vibraciones naturales de la propia cámara al hacer la foto hagan que vibre también el trípode y la foto resulte con menor nitidez.

## **ANEXO VII. ORDEN E INSTRUCCIONES PARA LA CAPTURA DE LAS IMÁGENES**

Cuando todo esté correctamente montado, el trípode debe estar bien asentado y completamente vertical. Es muy útil que sus patas estén completamente desplegadas, para tener una referencia exacta. Su base superior, donde se atornillará la rótula, debe estar completamente horizontal. A ese elemento se le llama rótula de bola y ha de usarse para corregirse las posibles faltas de horizontalidad de las patas. Puede ser difícil apreciar si la alineación es correcta o no por lo que, tras un ajuste inicial y tras montar la rótula, puede girarse esta para asegurar que lo hace sobre el plano horizontal, ya que su mayor tamaño lo hace más sencillo. Además, es recomendable que el objetivo se encuentre a la altura de los ojos.



*Figura 21: Esquema del solapamiento ente imágenes.*

Se ha comprobado experimentalmente que girando la base 60° (Fig. 21), el solapamiento producido es de un 25%, lo cual es suficiente para poder unir las fotos entre sí posteriormente. Los movimientos a realizar son los siguientes:

1. Con la cámara en posición vertical y su eje horizontal, girar la base de la rótula 60° entre toma y toma, resultando en 6 fotos. No importa que aparezcan las patas del trípode.
2. Con la cámara apuntando completamente hacia arriba, tomar dos fotos girando 90° entre ellas. De esta manera se asegura tener toda la información de la parte de arriba con la menor distorsión posible, de forma que puedan unirse con las imágenes del anterior paso.
3. Repetir el paso 2, pero esta vez inclinando la cámara hacia abajo. Es normal que aparezca la rótula en las imágenes, pero no importa ya que luego será eliminada.
4. Con el mismo motivo que el paso 2, y con el fin de obtener imágenes del suelo sin que aparezca ni la rótula ni los pies, se disparan fotografías sosteniendo la cámara con las manos. Debe tratar de mantenerse el punto nodal fijo, como se hacía con la panorámica, pero esta vez sin ninguna referencia, teniendo como única guía la vista y algunas marcas del suelo. Con dos imágenes a 90 grados debería ser suficiente, pero es muy probable que se mueva la cámara de su posición original por lo que conviene realizar 4 tomas por seguridad.

Como el tiempo de exposición puede llegar a ser algo elevado, deberá utilizarse un programa (Fig. 22) o unas tablas para encontrar otra configuración de exposición equivalente que utilice un tiempo más corto. El parámetro a modificar, salvo en diferencias muy elevadas, es la sensibilidad ISO, manteniendo la apertura

Calculador de Exposiciones

1/2 paso
  1/3 paso
  1 paso

**Exposición Actual**

Apertura:	8.0	9.5	11.0	13.0	16.0
Obturador:	0.5s	1/3	1/4	1/6	1/8
ISO:	100	140	200	280	400

Opciones de seguimiento

Apertura
  ISO

**Nueva Exposición**

Apertura:	8.0	9.5	11.0	13.0	16.0
ISO:	400	560	800	1100	1600
Filtro ND:	0		1	2	

Obturador: 1/15

Figura 22: Captura del cálculo de la exposición equivalente [61]

## ANEXO VIII. INSTRUCCIONES DE USO DE *DARKTABLE*: EDICIÓN BÁSICA

### Inicio del programa

Como cada panorámica se va a formar con varias imágenes distintas, es conveniente mantener un flujo de trabajo ordenado, de forma que las fotos que conformarán cada escena 360 se encuentren agrupadas en distintos conjuntos. Esto puede hacerse fácilmente añadiendo un número indicativo al nombre del archivo.

El uso de *Darktable* tiene varios fines. El primero, es el de corregir los errores más graves que puedan tener las fotos tanto individualmente como en conjunto. El segundo, es el de convertir el archivo *RAW* en *Jpeg*, una vez realizados los ajustes pertinentes.

El primer paso es importar las imágenes. Para ello, ha de seleccionarse arriba a la derecha el modo *Mesa de luz* y acudir al comando de arriba a la izquierda, *importar*. También pueden arrastrarse las fotos en el modo mesa de luz y quedan importadas automáticamente.

A continuación, se selecciona el modo *Cuarto oscuro*. Solo es necesario procesar una foto, ya que después se sincronizarán las demás. Los ajustes a realizar dependen mucho del tipo de imagen. Como se ha comentado, en esta fase del proceso lo más importante es solucionar aquellos problemas que puedan suponer una dificultad al programa de panorámicas, aunque también puede mejorarse la estética general. Algunos de estos problemas o aspectos a mejorar son:

- **Exposición:** si se ha cometido un error importante a la hora de escoger el valor de exposición o luminosidad de la foto en el momento de las tomas, es posible que existan zonas muy brillantes o muy oscuras en las imágenes. Estas áreas de color blanco o negro puros corresponden a la ausencia total de información en esos píxeles. Ajustando los valores de luminosidad o activando los módulos de reconstrucción de luces o sombras y altas luces, puede recuperarse gran parte de la información.
- **Enfoque:** al trabajar con el formato *RAW*, las imágenes no están comprimidas y, por tanto, no aparecen tan nítidas como lo están después de su conversión a *Jpeg*. Unos bordes nítidos y unos detalles bien enfocados harán que la unión de la panorámica sea mucho más sencilla, tanto para la parte automática como para la manual. El nivel de detalle recuperado en la conversión viene dado por el módulo

de enfoque, donde los valores propuestos por defecto son suficientes, aunque pueden aumentarse en caso de precisar una nitidez más agresiva.

- **Balance de blancos:** aunque la temperatura de color pueda ajustarse una vez se haya creado la panorámica, puede ser conveniente hacerlo en esta fase si los ajustes necesarios son muy agresivos, debido a que el formato *RAW* contiene una mayor cantidad de información y el resultado será mejor. Para ello, es necesario acudir al módulo correspondiente y escoger una de las configuraciones ofrecidas por el programa. También puede hacerse de forma manual, escogiendo la opción *por punto* y seleccionando a continuación una porción de la imagen cuyo color deba ser blanco. El resultado ha de ser un color acorde a lo experimentado en la realidad.

Una vez se han realizado estos ajustes, se vuelve al menú *Mesa de luz*, situado en la parte superior derecha. En este menú, se selecciona la imagen procesada anteriormente, se copian sus ajustes y se pegan en el resto de imágenes que conformarán la panorámica. Para ello, se acude al módulo de la derecha llamado *Historial de acciones* y se pulsa en *copiar todo*. Finalmente, se seleccionan el resto de fotos y, en el mismo módulo, se pulsa *pegar todo*.

En este momento, solo resta el exportar las imágenes a *Jpeg*. Esto se hace en el mismo menú que el paso anterior, en la parte derecha inferior, *exportar* con los ajustes seleccionados por defecto, aunque puede ajustarse la calidad al 100% para un mejor resultado. Para mantener el flujo de trabajo ordenado, es recomendable exportar cada conjunto de imágenes en una sola carpeta, que ha de ser seleccionada antes de exportar.

## ANEXO IX. HUGIN: CONFORMAR LAS PANORÁMICAS

Los pasos a seguir son los siguientes:

**Primero:** Importar las imágenes. En este caso es imperativo importar únicamente las que vayan a conformar la panorámica con la que se vaya a trabajar en primer lugar.

**Segundo:** En el menú *proyección* y seleccionar *equirrectangular* de 360 x 180°.

**Tercero.** En el menú del asistente, seleccionar el tipo de objetivo como ojo de pez de marco completo y distancia focal igual a 8mm. El programa modificará automáticamente este valor, ya que el ofrecido por el fabricante no es exacto. Por último, el multiplicador de distancia focal será 1,569mm, que aparece por defecto. En caso de no aparecer, introducirlo manualmente.

**Cuarto.** Desde la barra superior, escoger *interfaz avanzada*. Aparecerá una ventana nueva sobre la que se trabajan los aspectos más técnicos. En primer lugar, se debe seleccionar *máscaras*, apareciendo en la parte izquierda los nombres de las imágenes y a la derecha una miniatura de la seleccionada. Es necesario hacer *click* en *añadir máscara* con una imagen seleccionada. Mediante el cursor, se crearán los vértices de un polígono. Este debe rodear por completo aquello que no queremos que aparezca en la imagen final, no siendo necesario ser muy precisos y requiriendo de pocos puntos. Es importante saber que esta opción no borra lo seleccionado, sino que lo sustituye por la información de otra foto. Al agregar una máscara, al lado del nombre de archivo aparecerá el número total de máscaras sobre esa imagen. En todo momento se puede seleccionar alguna y borrarla. Algunos ejemplos de máscaras:

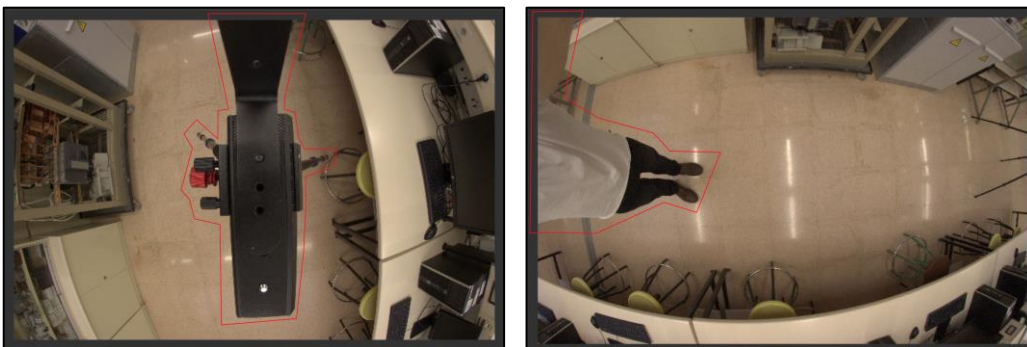
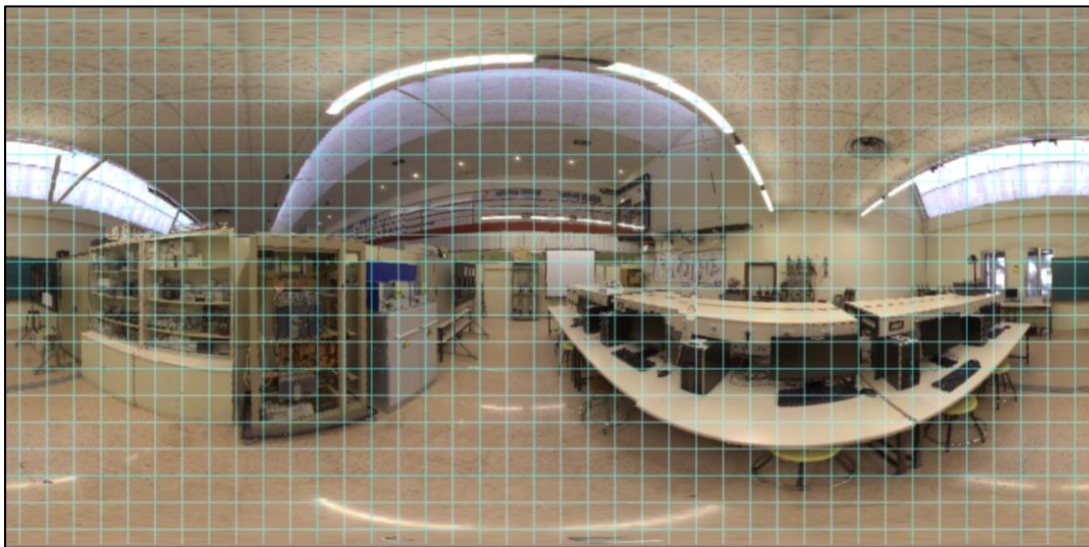


Figura 23: Fotografías con máscaras en color rojo

**Quinto.** Con las primeras condiciones introducidas, acudir de nuevo a la interfaz simple, cerrándose la ventana aparecida antes. En el menú del asistente, escoger *alinear*.

El programa tratará de alinear la imagen automáticamente, precisando de un tiempo de 30 y 120 segundos para ello, aproximadamente.

**Sexto.** Cuando termine de compilar, se mostrará en pantalla la panorámica. Es posible que la resolución, al ser solo una previsualización, sea muy baja y no permita apreciar los posibles errores. En ese caso, será necesario pasar al noveno punto y crear la panorámica, para exportarla a plena calidad y ver los detalles. Por lo general, esto no es así y se pueden percibir algunos de los fallos. El más común es la aparición de manchas en el suelo (Fig. 24 y 25). La mayoría de ellas proviene de imágenes que el programa ha introducido automáticamente en esa zona. La forma de solucionarlo es ir seleccionando los cuadrados azules numerados que se encuentran sobre la panorámica. Estos representan las distintas imágenes y su activación y desactivación permite eliminar estas manchas. También permite ver qué combinaciones, diferentes a la propuesta por el programa, constan de mayor o menor error. A continuación, se muestra un ejemplo de panorámica con manchas y cómo este método lo resuelve:



*Figura 24: resultado de una alineación automática. Nótese, entre otros errores, las manchas en la parte inferior.*



*Figura 25: Ampliación de la zona con manchas ya borradas.*

**Séptimo.** Con el fin de arreglar el otro tipo de error, el de alineación, acudir de nuevo a la interfaz avanzada y seleccionar *puntos de control*. Aparecerán dos paneles verticales que contendrán en su parte superior una pestaña para elegir una foto y, debajo, un espacio para la misma. En la parte inferior se encontrará una tabla donde se irán mostrando las características de los distintos puntos. La tarea a realizar consiste en introducir puntos, uno a uno, en una foto y seleccionar el equivalente en las fotos contiguas. El programa ya habrá incluido una cantidad aceptable de puntos, por lo que se debe trabajar en detalle en las zonas donde no exista alineación o se presenten discontinuidades.

La forma de hacerlo es seleccionar una imagen para uno de los dos laterales e ir introduciendo puntos en común con todas las otras fotos donde existan zonas coincidentes. Para mejorar la precisión en la selección, el programa amplía de forma automática tras el primer *click*. Al pulsar por segunda vez, trata de buscar el equivalente en la imagen contigua, aunque suele precisar de un ajuste manual. En ocasiones, puede no llegar a encontrarlo por lo que deberá hacerse manualmente. Una vez seleccionados los dos puntos, se debe pulsar *añadir* abajo a la derecha. Existe la opción *ampliación* donde poder seleccionar el nivel de *zoom* deseado en cada momento. En las figuras 26 y 27, se muestra una captura característica de los puntos que incluye el programa y de la adición de otros manualmente, respectivamente:

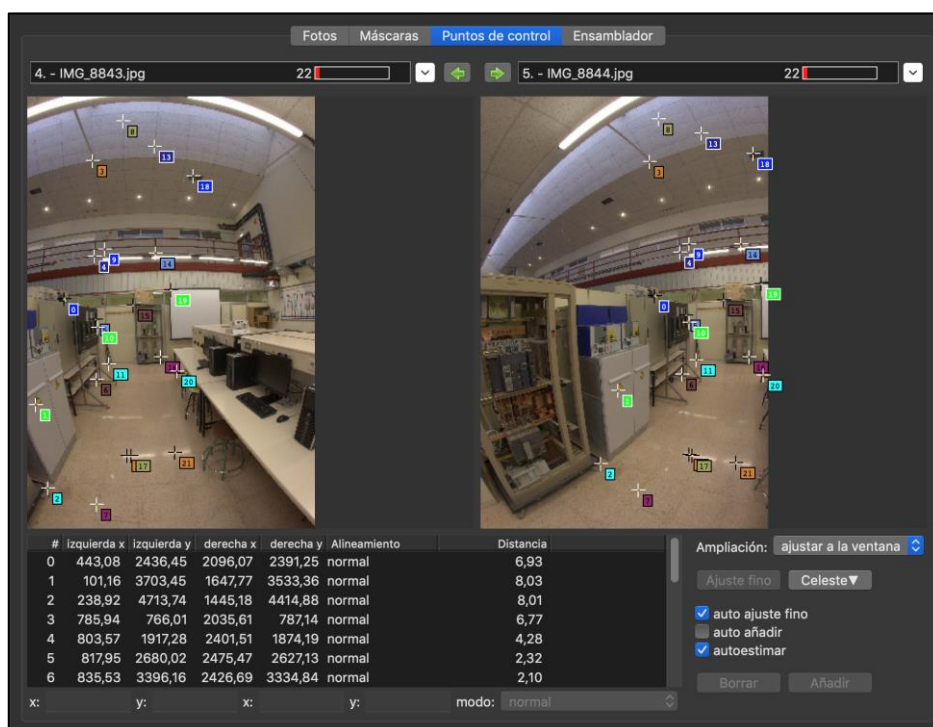


Figura 26: Captura de pantalla de los puntos seleccionados automáticamente.



Conviene que los puntos colocados, además de en las zonas donde el programa parezca fallar, se encuentren en los extremos de las fotos, ya que es ahí donde la distorsión es mayor, haciendo que las rectas aparezcan muy curvadas y las pequeñas desalineaciones amplificadas. También es útil seleccionar zonas fácilmente reconocibles, como los cruces entre rectas o las cabezas de los tornillos (Fig. 27). Además, con el fin de suavizar las consecuencias del error de paralaje, pueden escogerse puntos fruto de la intersección de dos elementos que se encuentren alejados entre sí. De esta forma, se fuerza a que sean el mismo y se soluciona el error.

No obstante, es importante entender que el número de puntos es menos importante que la calidad de los mismos. Para conocer la validez de cada uno, pueden apreciarse en la tabla de la parte inferior de la figura 26 ciertos valores de distancia, que representan la desviación entre los puntos supuestamente equivalente. En la parte superior de esa misma figura, se ve el número 22 y un rectángulo casi vacío con una sección en rojo. Esto quiere decir que la desviación media de todos los puntos de esta pareja es muy elevada. Para solucionarlo deben añadirse nuevos puntos, comprobando que su calidad es mejor y eliminar aquellos que presenten una mayor desviación. La situación ideal es completar el rectángulo de color verde, pero es una situación ideal y dependerá de los parámetros de convergencia introducidos en el programa.



*Figura 27: Ejemplo de selección manual de un punto. Nótese cómo la distorsión en ambas imágenes hace que las rectas parezcan curvas, dificultando su unión.*

Finalmente, destacar que sirve otro tipo de puntos, los que conforman rectas verticales y horizontales (Fig. 28). Para verlos y poder editarlos, debe ponerse a ambos lados la misma fotografía. Para crear una línea, en una imagen se introduce el punto inicial y en la otra el final. En lo relativo a la desviación, se comporta igual que los puntos.

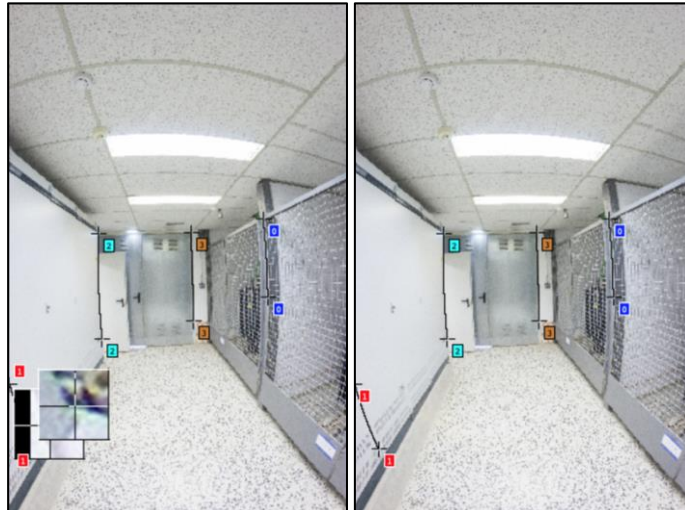


Figura 28: Creación de rectas verticales

**Octavo.** Una vez introducidos los puntos de control, se vuelve a la interfaz simple y se alinea de nuevo. En la previsualización, es posible que se perciban aún algunos errores, pero también pueden ser consecuencia de la baja resolución con la que se presenta. Por ello, pasamos al paso siguiente y comprobaremos que estos errores en realidad no lo son más adelante.

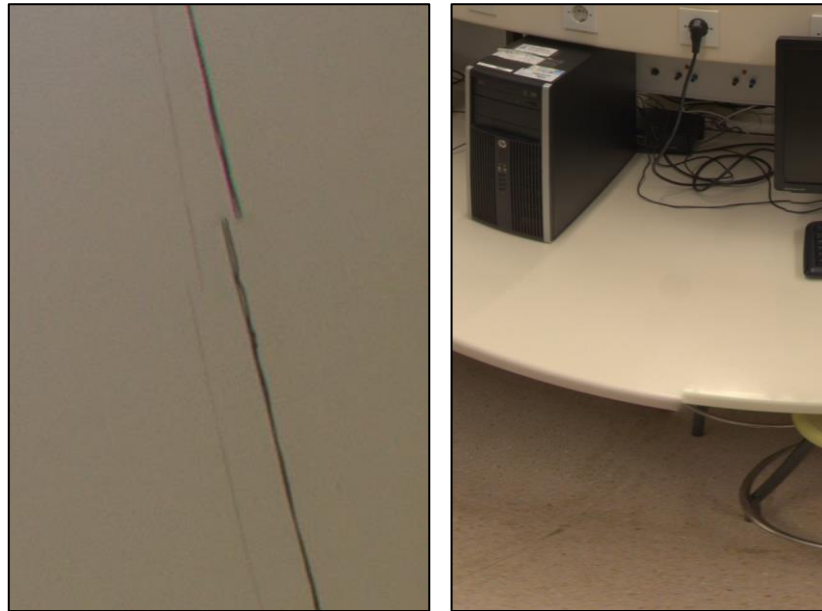
**Noveno.** Antes de crear la panorámica, es necesario acudir al menú *mover/arrastrar/* y pulsar *enderezar*. De esta forma, se asegura que las líneas verticales y horizontales lo sean en la proyección y, por tanto, luego en el visionado 360.

**Décimo.** Finalmente, en el menú inicial o *asistente*, se crea la panorámica. Los valores de la exportación, son los incluidos por defecto: formato *TIFF* (mayor calidad) con el tamaño y compresión propuestos (Fig. 29). La salida ha de ser la de exposición corregida y bajo rango dinámico, ya que por eso ha sido corregido antes en *Darktable*.



Figura 29: Ajustes al exportar la panorámica.

**Undécimo.** Con la panorámica exportada con buena calidad, repasar la imagen para comprobar que, en efecto, se han arreglado las desalineaciones y desperfectos. En caso de que no haya sido así, volver a la alineación de puntos del programa y trabajar sobre esas zonas. En la figura 30 se muestran dos claros ejemplos de error:



*Figura 30: ejemplos de desalineación.*

**Duodécimo.** Una vez obtenidas las panorámicas, al verlas en conjunto pueden apreciarse algunas faltas propias de la edición, esto es, solucionables en *Darktable*. Por ello, es conveniente introducir todas las panorámicas de una misma visita en dicho programa y repetir algunos de los ajustes explicados en el anexo anterior ([Anexo VIII](#)), con el fin de que existe homogeneidad entre todas las fotos.

## ANEXO X. LAPENTOR: CREACIÓN Y PUBLICACIÓN DE LA VISITA

*Lapentor* es el nombre comercial de un software online *open source* o gratuito. Para poder usarlo, es necesario acudir a su página web y registrarse. El único límite que se ha detectado en la realización de estas pruebas ha sido el del tamaño máximo de cada panorámica, 300mb. El proceso a seguir se detalla a continuación:

**Primero:** Registrarse, crear perfil e iniciar un nuevo proyecto

**Segundo:** Importar todas las panorámicas, sin que ninguna supere los 300mb. Si esto se produce, puede retrocederse y limitarse el tamaño final al exportar en *Darktable*.

**Tercero:** Seleccionar todas las imágenes y convertirlas en esferas utilizando el modo *multiresolution* en lugar del estándar. Según el comando de ayuda del programa, garantiza una mejor resolución al hacer zoom durante el visionado.

**Cuarto:** La pantalla principal se mostrará como un fondo azul oscuro con un mallado. Las miniaturas de las panorámicas se encontrarán a la izquierda. Es conveniente organizarlas por orden de aparición y cambiar su nombre a uno que facilite la localización: “escena 1” o “entrada”.

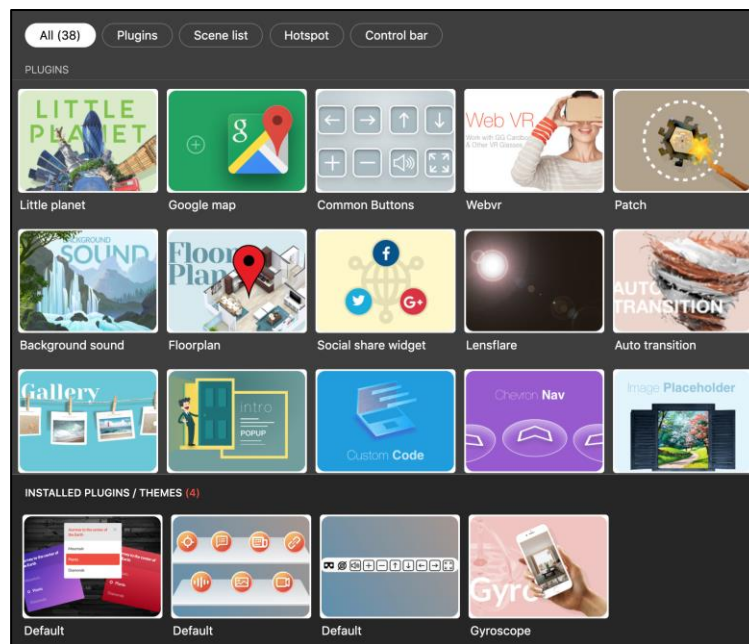
**Quinto:** Haciendo doble click sobre una miniatura, esta pasa a la pantalla principal y puede comenzarse a trabajar con ella con los llamados *hotspots* o puntos interactivos (Fig. 31). Se recomienda comenzar con el primer punto, el encargado de enlazar unas escenas con otras.

Con una escena seleccionada, arrastrar desde el lateral derecho el icono correspondiente y posicionarlo en una zona representativa de la próxima escena, como el punto donde se posicionó el trípode. Seleccionar la escena a la que está vinculado, la primera imagen que se verá en ella y el nivel de zoom. Se recomienda que el nivel de zoom sea el mínimo para aumentar la sensación de espacio y hacer más agradable la visita, el usuario podrá ampliar para ver los detalles igualmente. Por otro lado, si desde una escena se va a poder acceder a varias a distintas distancias, es necesario regular el tamaño del icono para no estropear la sensación de espacio.



Figura 31: Puntos interactivos disponibles en Lapentor

**Sexto:** Añadir el resto de puntos interactivos de forma acorde a las necesidades de la visita, adecuando su tamaño a la escena y su posición dentro de ella. En caso de querer aumentar las capacidades de la visita, puede pulsarse en el icono con forma de cohete e introducir algunos de los *plugins* (Fig. 32). Lo más útiles son los relacionados con el vincular el giroscopio del móvil a la visita y la capacidad de utilizar gafas de realidad virtual. Además, el posicionamiento en Google Maps, incorporar sonido de fondo o posicionar imágenes dentro de la visita.



*Figura 32: Plugins o Power Ups disponible en Lapentor.*

**Séptimo:** Una vez terminada, ha de pulsarse el ojo que aparece en la parte superior de la pantalla principal. Se abrirá una nueva ventana, con una previsualización de toda la visita y los detalles introducidos. De esta forma, se podrá confirmar que todos los elementos están correctamente situados y los enlaces informativos funcionan correctamente. En caso contrario, deberá acudir a la ventana anterior y hacer las modificaciones pertinentes. Es normal que, en caso de no haber logrado solucionar todos los errores de las panorámicas, se vean aumentados en esta fase. Esto se debe a las distorsiones para generar la esfera.

**Octavo:** Finalmente, en la parte superior a la derecha se encuentran las opciones para compartir y hacer pública la visita.

## ANEXO XI. RESULTADOS FINALES DE LA INSTALACIÓN 1





*Figuras de 33 a 38: Panorámicas del laboratorio visitado*



*Figuras de 39 y 40: Capturas de la visita virtual*



## ANEXO XII. RESULTADOS FINALES DE LA INSTALACIÓN 2



*Figuras 41 a 43: Panorámicas de centro de transformación visitado*



*Figuras de 44 y 45: Capturas de la visita virtual*