



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

## DISEÑO DE ESCÁNER DE CUERPO ENTERO MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA MULTI-CÁMARA PARA APLICACIONES DE DIGITALIZACIÓN EN MOVIMIENTO

FULL-BODY SCANNER DESIGN USING MULTI-CAMERA  
PHOTOGRAMMETRY FOR MOTION SCANNING APPLICATIONS

Autor/es

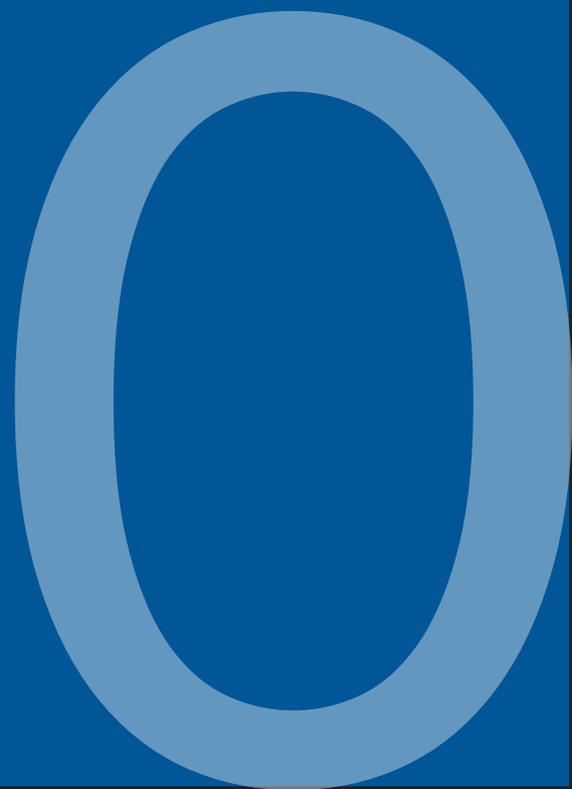
**ADRIÁN GASCÓN MORATE**

Director/es

**JORGE SANTOLARIA MAZO**

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA (EINA)  
2019

# RESUMEN



# DISEÑO DE ESCÁNER DE CUERPO ENTERO MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA MULTI-CÁMARA PARA APLICACIONES DE DIGITALIZACIÓN DE MOVIMIENTO

En el presente trabajo se va a plantear el diseño, producción y manejo de un escáner tridimensional de cuerpo entero para aplicaciones de fotogrametría en movimiento, desde su construcción hasta una aplicación final con capturas y reconstrucción fotogramétrica. Este tipo de productos se conciben en la filosofía DIY, muy en auge en los últimos años ya que permiten la realización de nuevos trabajos que la tecnología convencional no permitían o de hacerlo, resultaban mucho más costoso. Para la realización del escáner se ha partido del funcionamiento de los escáneres profesionales en el mercado así como su tecnología, que combina diferentes cámaras situadas periféricamente en torno a la zona de escaneo. Estas máquinas son excesivamente caras, por lo que la misión del trabajo es la de utilizar como cámaras diferentes Raspberrys PI con sus módulos de cámara correspondientes, obteniendo así una ventaja tanto en precio como en capacidad para controlar y programar todas desde un único ordenador central. Para conseguir los propósitos del trabajo, se ha estipulado un cronograma en el que se organizan las diferentes tareas hasta la consecución final de los objetivos marcados.

El punto de partida fue el análisis y estudio de la tecnología existente en el mercado, que tipos de escáneres existen, cuál es la tecnología que utilizan, que componentes necesitan y qué resultados se pueden llegar a obtener. Esto permitirá determinar qué tipo de tecnología se adapta más a nuestras necesidades, y cómo ha de ser el camino a explorar a lo largo del trabajo.

Una vez conocidos los diferentes tipos de escáneres que existen en el mercado, había que determinar qué componentes iban a formar parte de nuestra máquina, haciendo así una monografía que permitiera diferenciar aquellos que iban a ser de adquisición externa y aquellos que íbamos a producir nosotros mismos mediante la filosofía RepRap, y la combinación de las diferentes tecnologías DIY, cortando así mediante láser determinados componentes y produciendo mediante impresión 3D otros componentes.

Tras tener claro la cantidad de componentes así como la forma de cada uno de ellos, se procedió a la compra de los externos, y al diseño de aquellos que íbamos a fabricar para su posterior modelado 3D e impresión. Se realizaron diferentes versiones hasta obtener aquella que permitía una mayor facilidad en el montaje así como una posible sustitución posterior en caso de que se dañe. Este punto es muy importante, ya que resultará fundamental en el futuro poder acceder fácilmente a todos los componentes en caso de querer realizar una actualización o alguna reparación.

Finalmente, tras realizar la fabricación y el montaje, el objetivo es alcanzar una reconstrucción tridimensional a partir de fotogrametría mediante las fotografías tomadas por las diferentes cámaras que conforman el escáner.

# ÍNDICE



## CAPÍTULO 1-INTRODUCCIÓN.....7a9

1.1-MOTIVACIÓN.....	8
1.2-OBJETIVOS.....	8
1.3-METODOLOGÍA.....	8
1.4-ALCANCE.....	8
1.5-CRONOGRAMA.....	9

## CAPÍTULO 2 - ESCÁNERES.....10 a 12

2.1 - TIPOS DE ESCÁNERES.....	11
2.2-ESCÁNERESDIY.....	12

## CAPÍTULO 3 - RASPBERRY SCAN.....13 a 16

## CAPÍTULO 4 - COMPONENTES.....17 a 27

4.1 - ESTRUCTURA.....	18 a 22
4.1.1.-BASE.....	18
4.1.2. - POSTES VERTICALES.....	18
4.1.3. - SOPORTES RASPBERRY.....	20
4.1.4. - SOPORTES ILUMINACIÓN.....	22
4.2-ILUMINACIÓN.....	23
4.2.1. - TIRAS LED.....	23
4.2.2. - PANEL LED CENITAL.....	23
4.3 - CAPTURA DE IMAGEN.....	24 a 25
4.3.1. - RASPBERRY PI 3.....	24
4.3.2. - MÓDULO CÁMARA.....	24
4.3.3. - MÓDULO POWER ON ETHERNET.....	24
4.4 - OTROS COMPONENTES.....	26 a 27
4.4.1. - SWITCH POE.....	26
4.4.2. - CONTROL DMX ILUMINACIÓN.....	27
4.4.3. - FUENTES DE ALIMENTACIÓN.....	27

CAPÍTULO 5-CONTROL RASPBERRY.....	28a31
CAPÍTULO 6-CONTROL ILUMINACIÓN.....	17a35
CAPÍTULO 7- PROCESO DE CAPTURA.....	36a38
CAPÍTULO 8-FOTOGRAMETRÍA.....	39a44
CAPÍTULO 9- SECUENCIA DE USO.....	45 a47
CAPÍTULO 10-ACCIONES FUTURAS.....	48a49
CAPÍTULO 11-VALORACIÓN FINAL.....	50a51
CAPÍTULO 12-FOTOGRAFÍAS.....	52a56
CAPÍTULO 13-BIBLIOGRAFÍA.....	57a58

# INTRODUCCIÓN



## **1.1. MOTIVACIÓN:**

Este proyecto representa la combinación de las pasiones que como estudiante me llevaron a escoger los estudios que elegí, así como el gran desarrollo y potencial que están demostrando actualmente las tecnologías DIY, impresión 3D y fotogrametría.

Actualmente es una tecnología puntera y que cada día tiene un mayor número de aplicaciones, por lo que resulta especialmente interesante dado el gran potencial futuro y la cantidad de aplicaciones que están por desarrollar en este ámbito.

## **1.2. OBJETIVOS:**

El objetivo principal de este trabajo es el aprendizaje y la profundización como ingeniero en este nuevo tipo de tecnología, a través del diseño, la fabricación, construcción y utilización de un escáner de cuerpo entero que, combinando diferentes parámetros de iluminación permita la captura mediante un sistema multicámara para posteriormente recomponer las imágenes mediante fotogrametría para conseguir un buen digitalizado tridimensional.

## **1.3. METODOLOGÍA:**

La metodología en este proyecto parte de una fase de inicial de investigación y obtención de recursos así como de la adquisición de aquellos componentes comerciales o la producción de los elementos particulares. Una vez realizado todo el campo de investigación, se desarrollará el resto del proyecto de una manera eminentemente práctica y funcional.

El proyecto se elaborará hasta alcanzar la consecución completa de la estructura y la iluminación así como de una malla de cámaras suficiente para poder realizar un mapeado de al menos 180° de un objeto y su posterior reconstrucción mediante fotogrametría.

## **1.4. ALCANCE:**

El desarrollo del presente trabajo se plantea desde la fase inicial de investigación y diseño, abarcando los tipos de escáneres existentes en el mercado así como la diferencia entre ellos, la tecnología usada en general y en particular en el diseño de nuestro escáner así como el diseño y desarrollo de fabricación del escáner hasta el final, con el fin de conseguir una reconstrucción de un objeto a través de las imágenes capturadas a través de las diferentes cámaras.

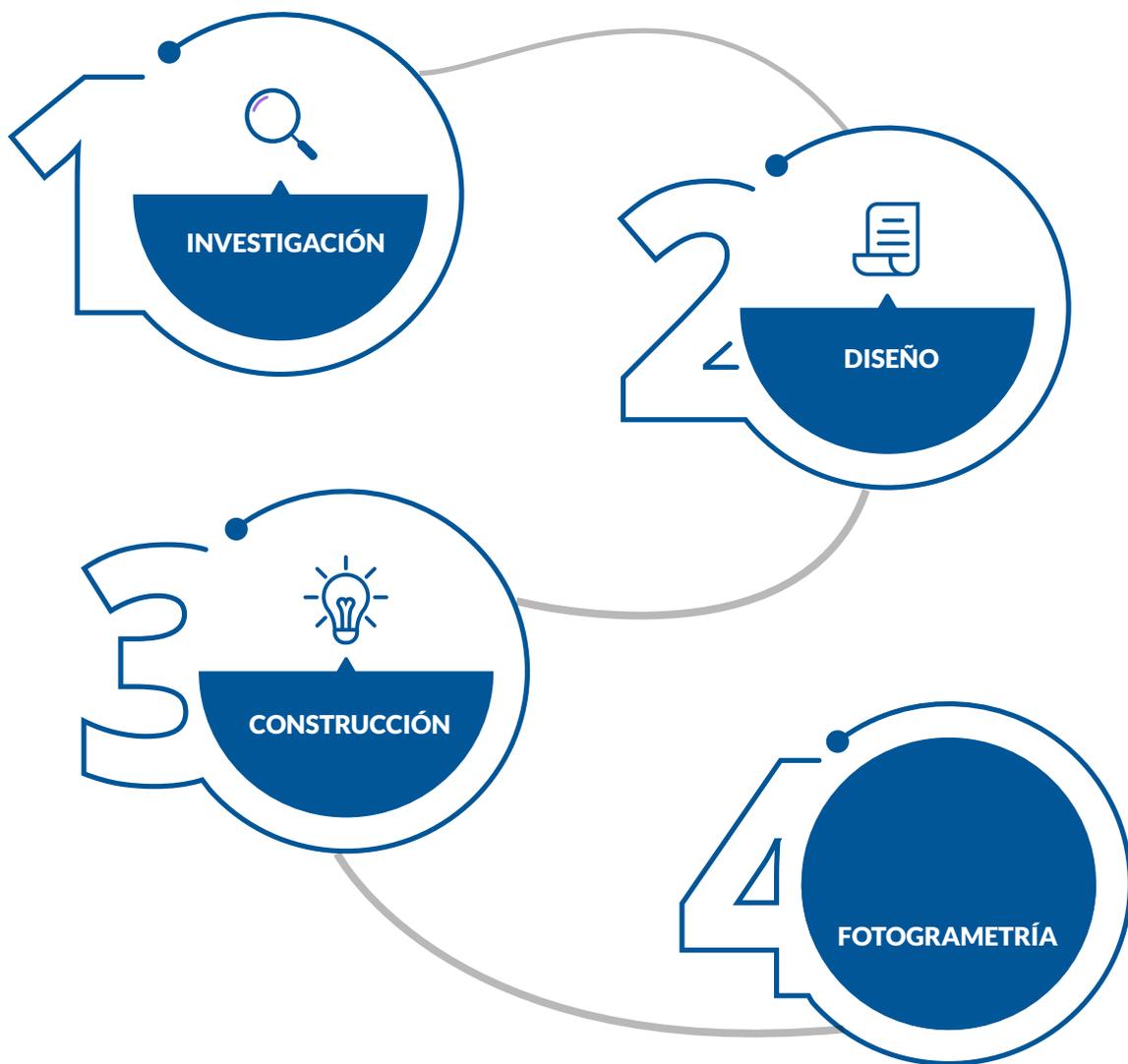
Todo ello, controlando en todo momento la iluminación más óptima para cada situación, facilitando de esta manera la reconstrucción posterior mediante fotogrametría.

## 1.5. CRONOGRAMA:

El desarrollo cronológico consistirá en una fase inicial de investigación de tecnologías existentes, proyectos existentes, fabricación de los diferentes componentes de la estructura (3d, laser...) así como la elección e inventario de los componentes necesarios para su fabricación.

Una vez obtenidos todos los elementos, se desarrollará el montaje y la construcción del sistema, para finalmente realizar la programación de los diferentes hardware que componen el escáner.

Una vez configurada la malla de cámaras, se realizará el escaneo de un objeto y su posterior reconstrucción tridimensional mediante programas de fotogrametría.



Infografía 1: Etapas del proyecto

Todo este proceso se organizará en una serie de capítulos que conformarán la presente memoria además de unos anexos en los cuales aparecerá de manera detallada aquellos procesos de mayor complejidad o importancia en el trabajo, tales como el proceso de obtención fotogramétrica, la configuración de la iluminación o la configuración de las diferentes raspberries.

# ESCÁNERES



## 2.1 TIPOS DE ESCÁNERES:

La tecnología del diseño y el prototipado 3D, es una tecnología puntera que está en auge y por tanto el desarrollo de las posibles aplicaciones y usos experimenta un crecimiento exponencial.

Una de las maneras más novedosas de obtener geometrías tridimensionales a través de objetos reales es mediante el mapeo y escaneo en tres dimensiones para su posterior reconstrucción mediante ordenador, y en esto se va a fundamentar el presente trabajo.

Dentro de la tecnología de escaneo tridimensional, encontramos diferentes versiones, que se clasificarían en:

- Escáneres con contacto:** Son aquellos que emplean un elemento denominado palpador, el cual va recorriendo la superficie a escanear y detecta las diferencias de alturas entre diferentes puntos, creando así la malla tridimensional del objeto.
- Escáneres sin contacto:** Son aquellos que captan la información de la superficie a través de la emisión de rayos y, capturando el reflejo y la intensidad de éste permiten determinar la altura de los diferentes puntos, creando así el mapeado.



Imagen 1: Escáner de palpador



Imagen 2: Escáner sin contacto

Con todo ello, se trata de unas máquinas de una gran precisión y un coste muy elevado por lo que su uso está restringido a grandes empresas o profesionales.

Existe una técnica, denominada fotogrametría que permite, a través de una serie de imágenes periféricas del objeto, solaparlas, creando puntos en común que permiten obtener la geometría del objeto, para mediante procesado digital acabar obteniendo el modelado tridimensional.

Éste será nuestro objetivo y punto de partida para este trabajo, en el que nos basaremos en la tecnología de fotogrametría para capturar a través de diferentes Raspberry PI 3 un objeto para renderizar posteriormente.

## 2.2. ESCÁNERES DIY:

Entre toda la tecnología puntera, también encontramos la filosofía DIY (Do it Yourself) en las herramientas para el escaneado tridimensional, ya que en las formas de realizar labores de prototipado actualmente, encontramos imprescindible el tándem Impresión 3D- Escaneo 3D.

Por todo ello, se han creado muchas versiones de diferentes escáneres 3D, que emplean la captura de fotografías para realizar el procesamiento posterior mediante fotogrametría. Es el caso del empleo de una serie de Cámaras Réflex, que accionadas simultáneamente nos permiten capturar diferentes ángulos del objeto a la vez. Aunque se trata de un sistema casero más económico que los escáneres sin contacto, la adquisición de tantas cámaras puede suponer un problema económico. Por ello, se está tratando de sustituir dichas cámaras por placas Raspberry que, acopladas con su módulo correspondiente de cámara, permiten capturar de una manera mucho más económica.

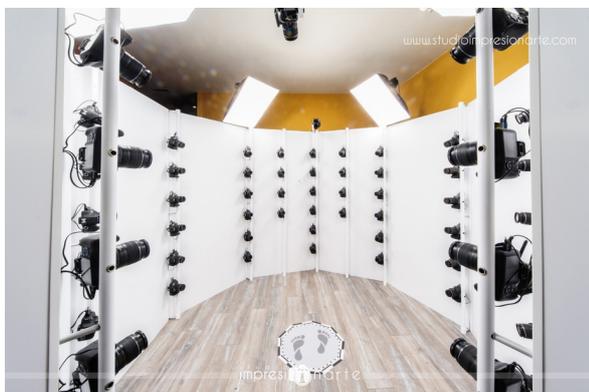


Imagen 3: Escáner por Cámara Réflex



Imagen 4: Escáner por Raspberry

El empleo además de esta tecnología, nos permite en todo momento modificar cualquier elemento, bien sea para realizar alguna mejora, o para sustituir algún componente que haya sido dañado. Todo ello por un gasto mínimo, ya que las piezas las podemos fabricar nosotros mismos e ir realizando mejoras a partir de la versión inicial.

El uso de esta tecnología, implica que, además de poder capturar, al tratarse de una de las mayores comunidades DIY de software libre, las opciones que nos da son infinitas ya que, cada raspberry es configurable individualmente para capturar unos parámetros de foto determinados, además, creando una red con todas las raspberrys, estas se pueden controlar desde un único ordenador, simplificando el proceso al máximo.

Por todo ello, el empleo de esta nueva tecnología nos otorgará la flexibilidad necesaria en este tipo de proyectos, ya que podremos ir actualizando la máquina conforme vayan saliendo nuevos componentes, así como la posibilidad de escalarla en cuanto a número de cámaras se refiere, ya que al ser modular, podemos agregar más componentes sin necesidad de variar la configuración.

# RASPBERRY SCAN

3

Uno de los objetivos de este trabajo era conseguir un escaneado tridimensional de un objeto real, por lo que debíamos afrontar el reto de la fabricación de una manera objetiva, estableciendo una meta a nuestro alcance y que se ajustase al presupuesto. Por ello se planteó el desarrollo de un escáner tridimensional a base de Raspberry Pi.

Partiremos de la idea de que la estructura a fabricar va a estar preparada para una cantidad mucho mayor de cámaras, por lo que los componentes de control a adquirir deberán ser en consecuencia, y deben tener la capacidad suficiente para soportar el escáner con todos los componentes.

En el planteamiento inicial, el escáner está preparado para soportar hasta 100 Raspberry con sus correspondientes módulos de alimentación y de cámara. Éstas cámaras se dispondrían a lo largo de 20 postes colocando cinco unidades en cada uno, a una altura equitativa entre ellas con el fin de lograr un mapeado pormenorizado de todo el objeto a escanear.

Por motivos de presupuesto, tuvimos que fijar el alcance del proyecto a conseguir mapear 180° del objeto, ya que solo disponemos de 12 juegos completos de Raspberry, dispuestas en cuatro postes colocando tres cámaras en cada uno formando un semicírculo. Esta configuración, aunque no nos permita lograr unos resultados óptimos, ya que la densidad de la malla de cámaras es muy baja y la capacidad de capturar detalles con tan pocas cámaras disminuye significativamente, nos permitirá testear el sistema, encontrar posibles fallos o mejoras para el futuro, determinar si de verdad es un sistema útil y de esta manera, con las conclusiones obtenidas plantear las futuras ampliaciones, poniendo como objetivo principal incrementar la red de cámaras para ir ganando resolución en cada mapeado.

Respecto la iluminación, se ha planteado para la configuración completa del escáner, disponiendo de esta manera de las tiras de led suficientes para cubrir todos los postes del óvalo destinados a la iluminación. Dichos postes se irán intercalando con los postes que contienen las cámaras, permitiendo iluminar así perimetralmente todo el objeto. La programación de la iluminación mediante DMX se ha planteado para el sistema completo, quedando de esta manera 8 postes destinados a la iluminación y controlables individualmente.

Para lograr una iluminación completa se ha colocado un plafón led cenital, de manera que ilumina todo el área a escanear, reflejándose en el suelo y obteniendo así una sensación de iluminación envolvente.

Para el control de todas las Raspberry disponemos de un switch con 24 salidas POE, lo que nos permitiría hacer una futura ampliación de doce cámaras más. Si se superase ese número de cámaras, sería necesario colocar otro switch que permitiera dar cobertura a todas las cámaras. No obstante, en el planteamiento realizado, se ha tenido en cuenta a la hora de crear la red de cámaras y asignar las diferentes IP, seguir un esquema que permita continuar un orden en las futuras ampliaciones.

Este escáner nos permitirá mapear diferentes objetos, incluso en movimiento y de gran tamaño, pudiendo obtener de esta manera unas aplicaciones futuras muy ambiciosas.

A la hora de desarrollar esta idea, también encontraremos una serie de dificultades, ya que lo que en un principio puede suponer la ventaja de trabajar sobre unos componentes que son completamente libres y que nos proporcionan toda la libertad a la hora de crear scripts, funcionalidades, acoplar componentes... también puede suponer la aparición de imprevistos en cuanto a programación, fallos de comunicación entre los componentes así como unos resultados sobre los que sea necesario trabajar para terminar de ajustar los diferentes parámetros de todas las variables con las que se trabaja, principalmente en este caso en cuanto a la captura de fotografía, ya que al ser unos componentes en bruto, hay que programarlos desde cero encontrando que configuración es la óptima para la estancia en la que va a ser ubicado.

Otro de los posibles problemas que habrá que hacer frente es la problemática inicial del gran número de componentes iguales, ya que al no estar configurados no existe ninguna comunicación previa ni ningún sistema previo con unas referencias a las que remitirse, por lo que encontraremos en muchas ocasiones al principio un trabajo muy repetitivo, teniendo que repetir en cada componente todas las configuraciones.

Esta vez, lo que al principio supone un problema, una vez estén todos los componentes configurados nos permitirá atacar a todos de golpe por lo que habremos superado el problema del trabajo monótono. Por otro lado, el diseño del escáner deberá ser como se ha mencionado anteriormente adaptable, ya que es una tecnología que se está evolucionando y desarrollando diariamente por lo que puede llegar a ser previsible la inclusión de nuevos componentes en el futuro que permitan nuevas funcionalidades, una mejora en los actuales etc...por lo que plantear un diseño y un montaje modular y accesible puede resultar muy satisfactorio en el futuro.

Un factor que va a tener especial relevancia en un proyecto de esta envergadura será también el orden y la meticulosidad necesaria para trabajar ya que, al no tratarse de elementos comerciales con todos los componentes integrados, tendremos una gran cantidad de conexiones, cables, adaptadores... para lo que será estrictamente necesario llevar un orden y cuidado ya que, es muy probable tocar alguna conexión de algún componente y que deje de funcionar correctamente, con la correspondiente dificultad de encontrar el error posteriormente.

Esta meticulosidad, será también necesaria a la hora de establecer el sistema de ordenamiento de los componentes así como de la asignación de las IP a las diferentes unidades de captura, teniendo de esta manera un esquema claro, en caso de que el ordenador nos devuelva un error en un componente nos será mucho más fácil localizar la avería ya que tendremos acotado la zona a inspeccionar a un solo componente al que le corresponde la IP que haya indicado el error. Todo esto nos lleva a embarcarnos en un proyecto que podremos conseguir grandes resultados pero que supondrá un camino de imprevistos que habrá que ir superando para conseguir nuestro objetivo final.

El desarrollo de este proyecto en esta línea de trabajo, viene motivado también por el gran potencial que tienen este tipo de proyectos, ya que podría llegar a emplearse incluso en aplicaciones médicas como escaneo de prótesis... en la industria como prototipado... siendo un campo en constante investigación y evolución.

Con todas las consideraciones anteriores, nuestro proyecto tendrá un carácter eminentemente funcional ya que una necesidad fundamental es la capacidad de localizar en cualquier momento cualquier componente en caso de tener que actuar sobre él.

Esto no excluye el hecho de cuidar unos acabados y mantener una estética, para lo cual nos apoyaremos en los materiales seleccionados así como el acabado de cada uno de ellos.

Por ello, el escáner que se plantea en un inicio es de forma oval con materiales en madera y metal, manteniendo una estética limpia y cuidada, aprovechando también las propiedades que estos materiales nos otorgan. Como veremos posteriormente, la base estará realizada en madera, sobre la cual, una vez ensamblada y conformada, se anclarán unas abrazaderas metálicas para sujetar los diferentes postes, como se puede ver en la fotografía.

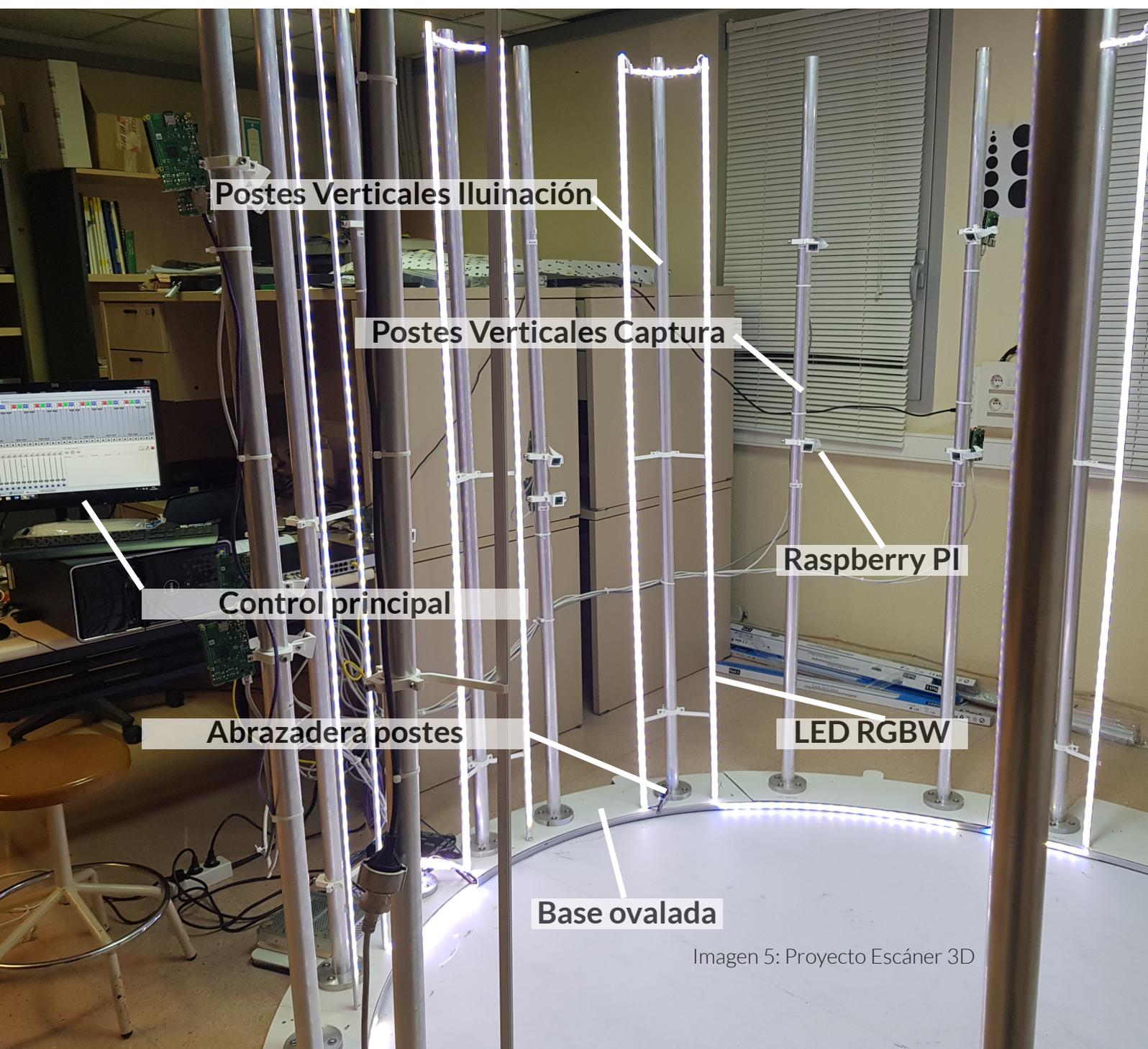


Imagen 5: Proyecto Escáner 3D

# COMPONENTES



Ahora que ya hemos establecido como va a ser nuestro escáner, procederemos a analizar todos los componentes por los que va a estar formado, para lo cual dividiremos la máquina en tres grupos de componentes:

- Estructura:** Serán aquellos elementos que formen la estructura principal del escáner donde se ubicarán el resto de componentes. Por lo general serán fabricados por nosotros mismos mediante corte láser o impresión 3D.

- Iluminación:** Para obtener unas condiciones óptimas con las que realizar la captura, es fundamental el control de una correcta iluminación con el fin de que ésta sea homogénea por toda la pieza y así evitar sombras, que aportarán ruido y dificultarán el proceso de fotogrametría posterior. En este grupo encontraremos todos los componentes destinados a la iluminación del escáner.

- Captura de Imagen:** La parte fundamental del escáner son las diferentes placas Raspberry con sus correspondientes módulos de cámara. Éstos serán los encargados de la toma de las fotografías y el envío posterior al ordenador principal.

## 4.1 ESTRUCTURA:

La estructura del escáner va a estar compuesta por una base de madera en forma de óvalo sobre la que irán anclados diferentes postes.

### 4.1.1. BASE:

La base del escáner va a tener una forma ovalada, que permitirá el acceso de piezas voluminosas al interior del escáner sin perder la capacidad de fotografiar a lo largo de todo el perímetro de la pieza.

Esta base estará conformada por diferentes segmentos que ensamblados darán lugar al óvalo. La fabricación se ha llevado a cabo mediante corte láser, y el ensamble mediante fijación por tornillería.



Imagen 6: Base del escáner

Finalmente irá pintada en blanco para que refleje al máximo la luz, obteniendo así una iluminación esférica sin sombras.

Sobre esta base irán anclados los soportes sobre los que se sujetarán los postes. Estos soportes están realizados mediante procedimientos mecánicos en acero inoxidable.

La base está conformada por varios fragmentos que ensamblados conforman un óvalo sobre el que se sustentará todo el sistema.

Una vez obtuvimos mediante corte láser las diferentes piezas que conformarían el óvalo, en vistas a la dificultad de moverlo en el futuro decidimos colocar un vinilo plástico blanco en el suelo, que nos permitiría aprovechar los reflejos de la iluminación.

Con el vinilo colocado en el suelo, realizamos el ensamblaje de las piezas encima del vinilo, sujetándolas entre sí mediante tornillos. Cuando estaba conformado el óvalo, recortamos el vinilo sobrante que quedaba fuera del perímetro de escáner.

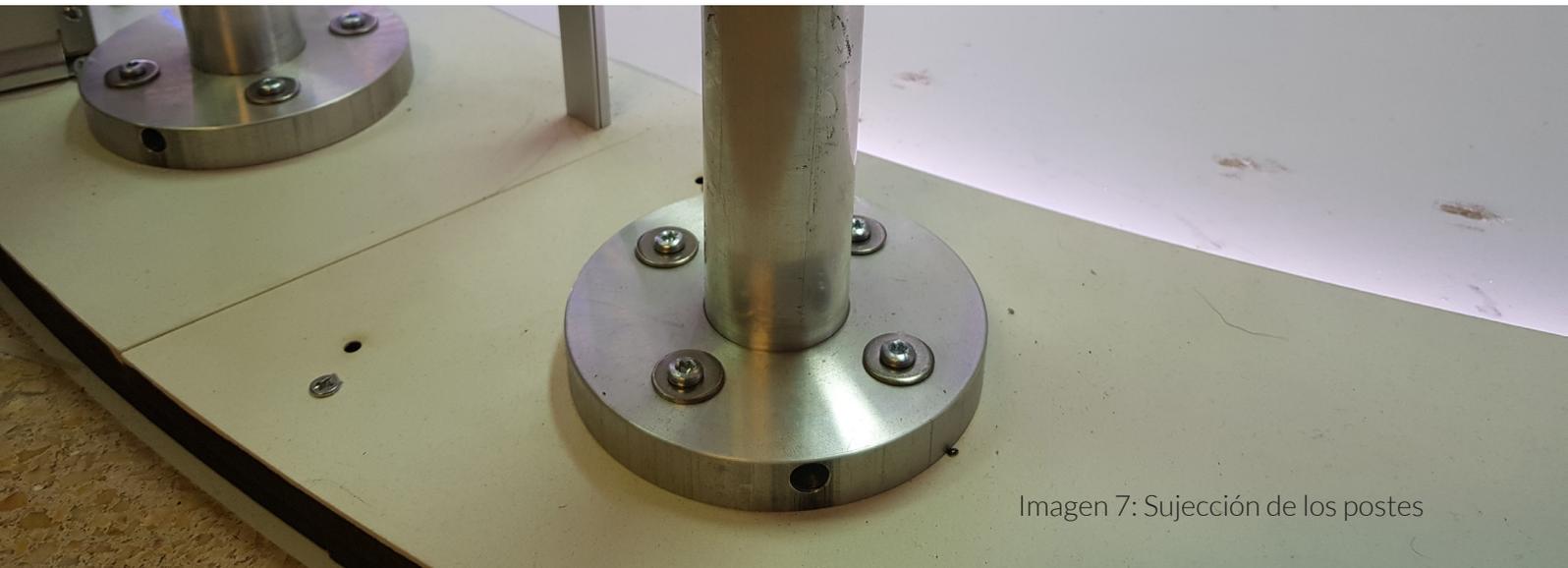


Imagen 7: Sujeción de los postes

Una vez disponemos de toda la base montada, anclada y pintada en blanco, colocamos las abrazaderas que sujetarán los postes verticales.

Estas abrazaderas será el único punto de contacto de los postes con el suelo por lo que deberán asegurar una correcta estabilidad. De no ser así, podremos encontrarnos vibraciones en el futuro que pueden perjudicar la captura de la imagen de las Raspberry que se encuentren amarradas en ese poste.

Para evitar que esto pase, se han colocado unas abrazaderas que se anclan mediante cuatro tornillos a la base, asegurando así su estabilidad y disponen de un orificio por el que se introduce el tornillo que mediante presión fija el poste contra la abrazadera .

El sistema de ensamble de los postes se basa en la introducción del poste cilíndrico hueco en la ranura circular creada para tal efecto en las abrazaderas.

Este sistema es útil para todos los postes del proyecto, bien sean para la sujeción de las cámaras o bien pertenezcan al sistema de iluminación.

### 4.1.2. POSTES VERTICALES:

Los postes verticales van a ser el soporte donde se anclarán tanto la iluminación como todas las Raspberrys con sus cámaras.

Estos postes son cilíndricos huecos, están realizados en acero y van sujetos en los soportes dispuestos para ello en la base. (imagen 5)

### 4.1.3 SOPORTES RASPBERRY:

Las Raspberry irán ensambladas junto con el módulo de la cámara en unos soportes impresos en 3D a modo de abrazadera de los postes, fijándolos a estos mediante un tornillo de presión.

Estos soportes estarán conformados por dos piezas diferentes, una primera sobre la que se ancla la Raspberry y se acopla al poste, y otra sobre la que se encaja el módulo de la cámara y se anclará a la primera mediante una fijación tornillo-tuerca.

Imagen 8: Modelado soporte Raspberry

#### Anclaje Raspberry Pi

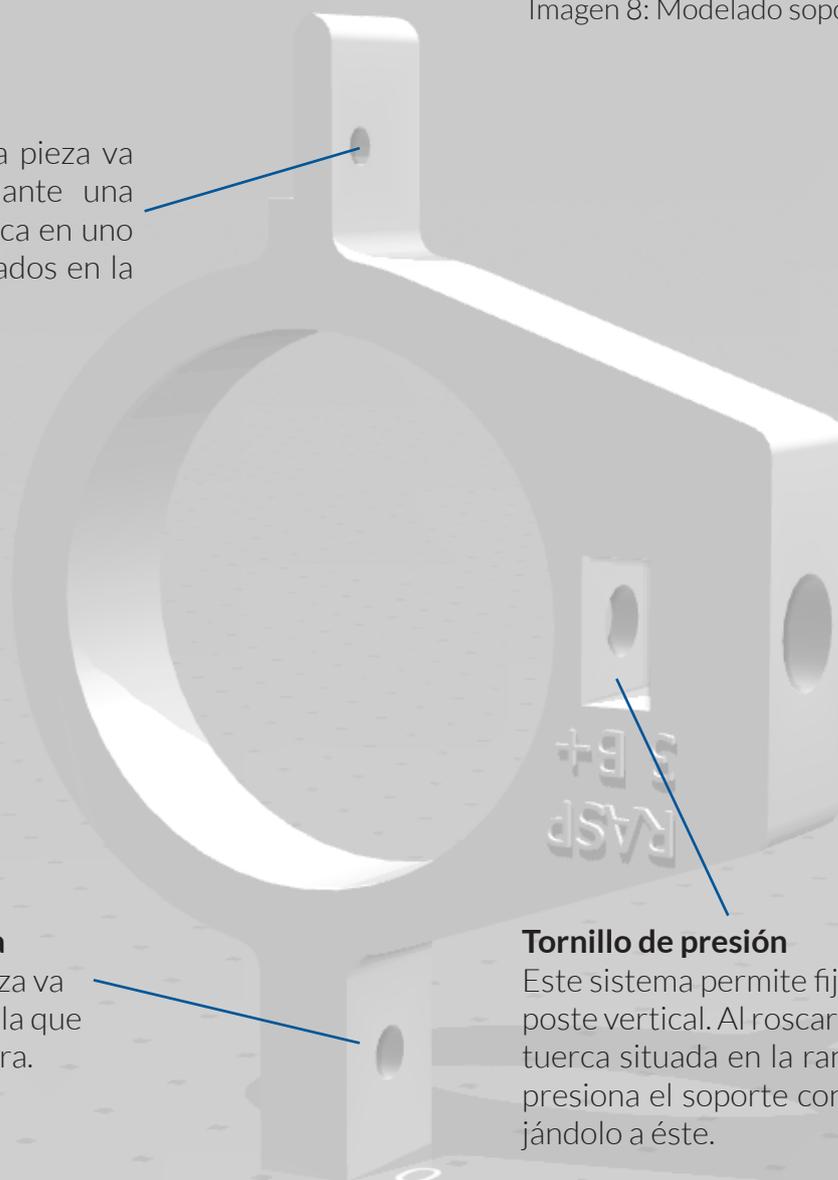
En este extremo de la pieza va sujeta la placa mediante una sujección tornillo tuerca en uno de los orificios habilitados en la placa.

#### Anclaje Soporte Cámara

En este extremo de la pieza va sujeta la otra pieza sobre la que se encaja el módulo cámara.

#### Tornillo de presión

Este sistema permite fijar el soporte al poste vertical. Al roscar el tornillo en la tuerca situada en la ranura, el tornillo presiona el soporte contra el poste fijándolo a éste.



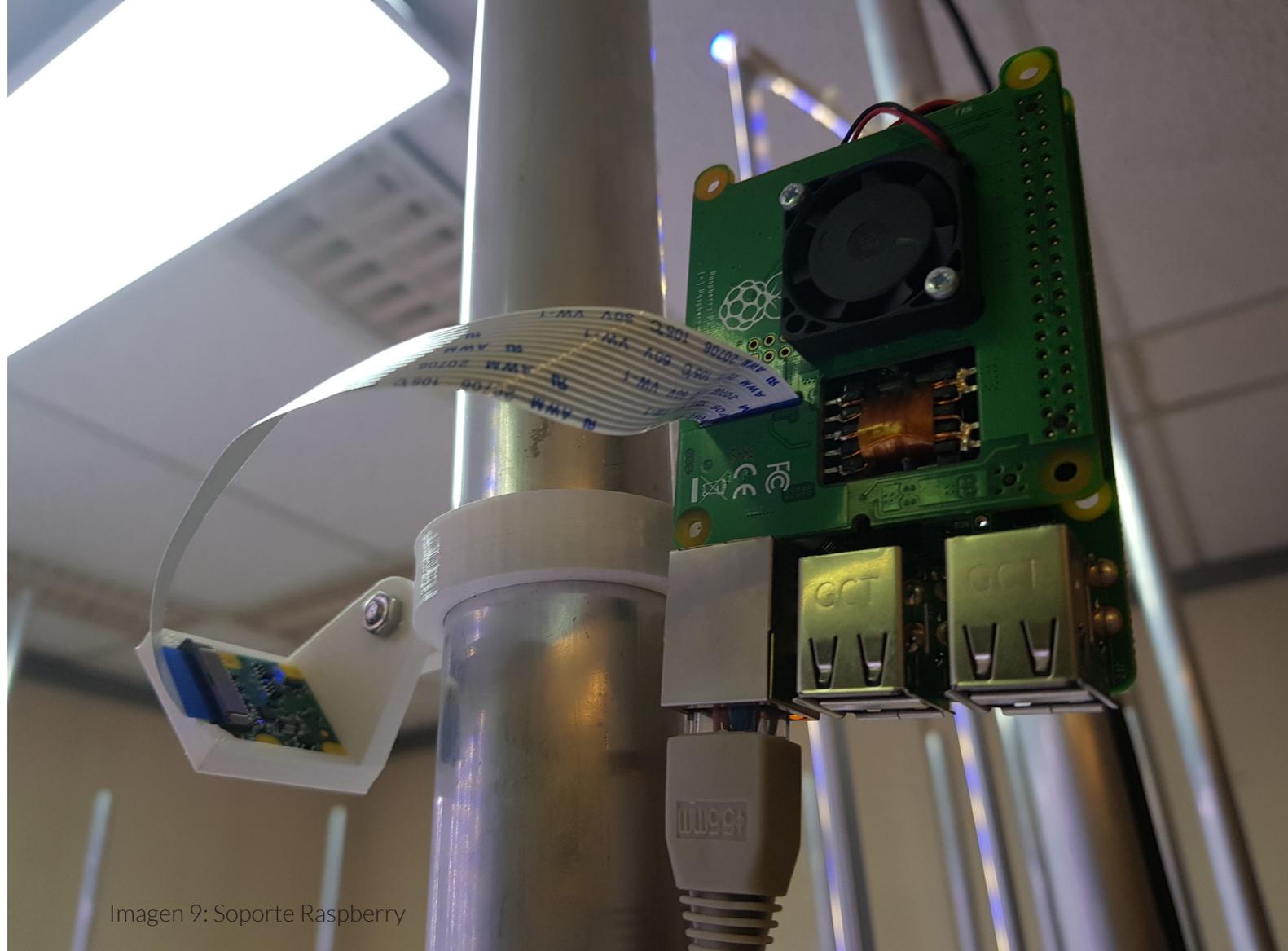


Imagen 9: Soporte Raspberry

La pieza correspondiente al anclaje del módulo cámara de la Raspberry tiene un diseño más sencillo.

Partiendo del contorno del módulo de la cámara, se crea una pieza en la que encaje a presión para que no se suelte y, se une por un único punto al extremo de la abrazadera del poste, opuestamente al que se fija la Raspberry.

Esta fijación se hace mediante un sistema de tornillería que permite ajustar la inclinación de esta pieza, consiguiendo así los ángulos necesarios en cada posición.



Imagen 10: Soporte cámara

#### 4.1.4 SOPORTES ILUMINACIÓN:

La iluminación del escáner ha sido diseñada mediante la colocación en los postes una pareja de perfiles verticales de la altura del poste dentro de los cuales se sitúa una tira LED.

Por ello se ha planteado el diseño de abrazadera similar al empleado en la sujeción de las Raspberry sobre la cual salen dos pequeñas extensiones con la forma del perfil sobre el que se colocan los LED, de manera que queden acoplados y así sujetos al poste. (imagen 11)

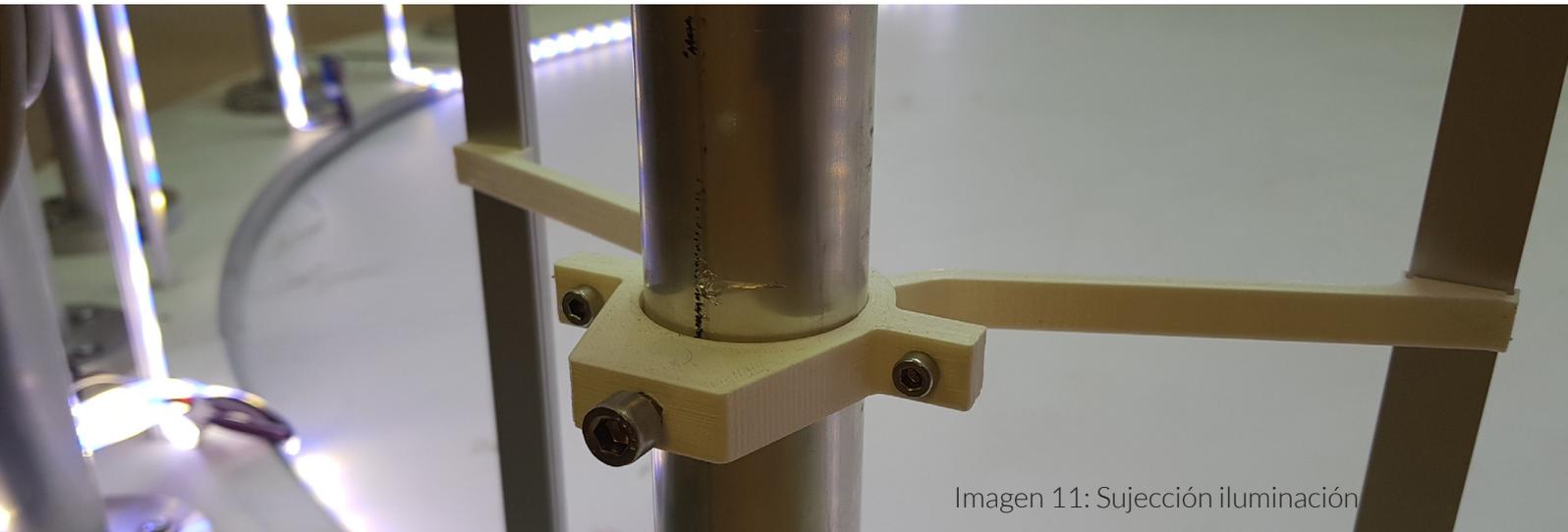
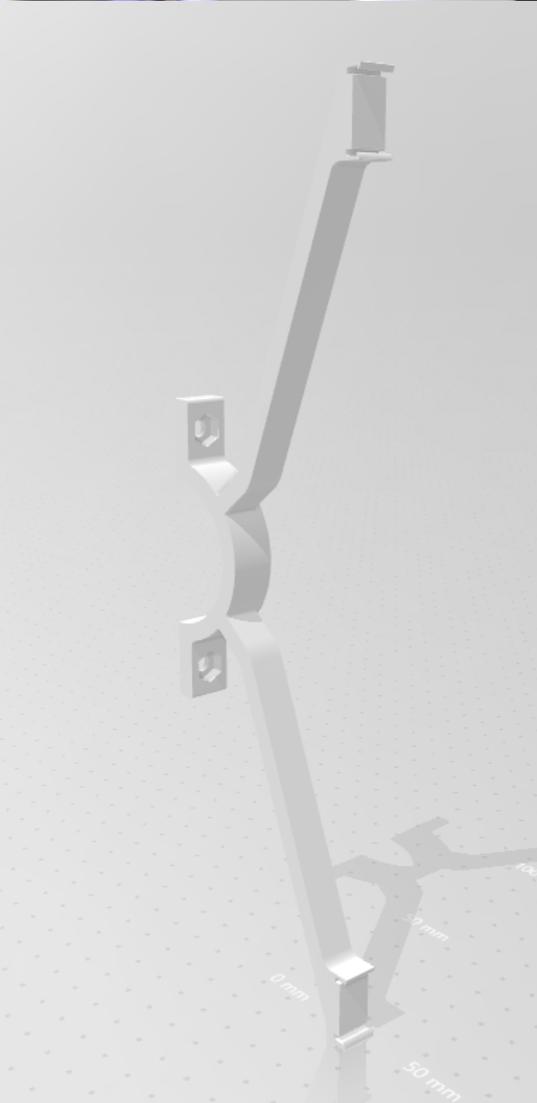


Imagen 11: Sujeción iluminación



El diseño de este soporte fue posterior al de la sujeción de las Raspberry, por lo que realizamos una modificación fundamental sobre el anterior.

Al instalarlo, a pesar de que se sujetaba correctamente mediante el tornillo de presión, en caso de que hubiera que desmontar alguno porque se haya partido o que haya que añadir más componentes, al no poder separarse, hay que desmontar todos los que tenga por encima en el poste.

Por ello planteamos un diseño similar pero en el que la parte que abraza el poste está partida en dos, uniéndose ambas mediante tornillo tuerza y colocando también el sistema de presión para el anclaje en el poste.

Esto nos permitiría desmontar las piezas o añadir nuevas sin necesidad de retirar todas las que se encuentran por encima.

Imagen 12: Modelado soporte Iluminación

## 4.2. ILUMINACIÓN:

La iluminación resulta esencial para conseguir un resultado óptimo en la captura de las fotografías y su posterior procesado, por lo que adquiere una notoria importancia en cuanto a cantidad y elementos físicos que encontraremos en el escáner.

La iluminación ha sido diseñada de manera que no quede ningún área sin iluminar tanto lateralmente como cenitalmente, colocando en el suelo un material que refleja la luz para obtener una iluminación inferior. Dicho funcionamiento se explicará en capítulos posteriores.

### 4.2.1. TIRAS LED

La iluminación anclada en los postes se realiza mediante tiras LED. Estas tiras están colocadas sobre unos perfiles de aluminio con un difusor traslúcido, que se sujeta a los postes mediante las piezas de sujeción específicas para ello.

Cada poste corresponde a dos perfiles de led, colocados verticalmente y uno a cada lado del poste, siendo estos recorridos por la tira LED. (Imagen 13 y 14)

En el interior del óvalo, se ha situado también un perfil de aluminio por el que van los cables de la iluminación y la tira de led que llega a los postes. (Imagen 15)



Imagen 13



Imagen 14

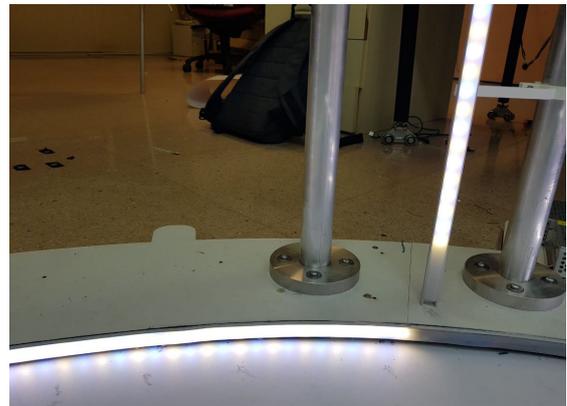


Imagen 15

### 4.2.2. PANEL LED CENITAL

Para lograr una iluminación global se ha colocado cenitalmente un plafón rectangular de LED blanco, que emite una luz neutra cubriendo así las áreas que los perfiles verticales no pueden cubrir. (Imagen 16 y 17)



Imagen 16



Imagen 17

## 4.3. CAPTURA DE IMAGEN

Como aparece mencionado anteriormente, los elementos encargados de capturar la imagen van a ser el componente fundamental, ya que desarrollan la función principal del escáner. Por ello, se les va a prestar especial interés en capítulos posteriores.

Aunque el componente encargado de capturar la imagen es una Raspberry PI 3, ésta a su vez utiliza otros dos componentes para desempeñar la función, como es el módulo cámara y el módulo POE (Power On Ethernet) que como se explicará más adelante simplificará el número de cables del sistema.

### 4.3.1. RASPBERRY PI 3

Se trata de una placa electrónica con todos los elementos básicos de un ordenador integrados de manera que, una vez alimentada y con la tarjeta que contiene el sistema operativo, podemos trabajar en ella como si de un ordenador pequeño se tratase. Funciona mediante un sistema operativo basado en LINUX y permite infinidad de proyectos ya que pertenece a una comunidad de software libre muy activa. (Imagen 18)

### 4.3.2. MÓDULO CÁMARA

Es uno de los accesorios más usados de la Raspberry, ya que de una manera muy sencilla podemos conectarlo a la placa y poder realizar interacciones con imágenes capturadas. (Imagen 19)

### 4.3.3. MÓDULO POE (POWER ON ETHERNET)

Se trata de un módulo cuya única finalidad es liberal el montaje de cables. Nos permite alimentar la placa a través del mismo cable de datos (Ethernet) mediante el cual la conectaremos a la red. Esto lo hace usando dos pines de este cable para alimentar cada placa, lo que ahora un cable por cada raspberry colocada. (Imagen 20)



Imagen 18



Imagen 19



Imagen 20

La Raspberry es una de las más pequeñas representaciones de un ordenador. Contiene todos los elementos básicos de un ordenador, pero optimizando en espacio y sobre todo en precio. Esta última razón y junto con la posibilidad de hacer lo que se desee con ella al estar basada en un Sistema Operativo de software libre, la ha convertido en uno de los componentes electrónicos más empleados en la actualidad.

Permite desarrollar aplicaciones como la nuestra con una cierta facilidad y posibilidad de mejora constante utilizando los diferentes módulos que se diseñan para interactuar con ella.

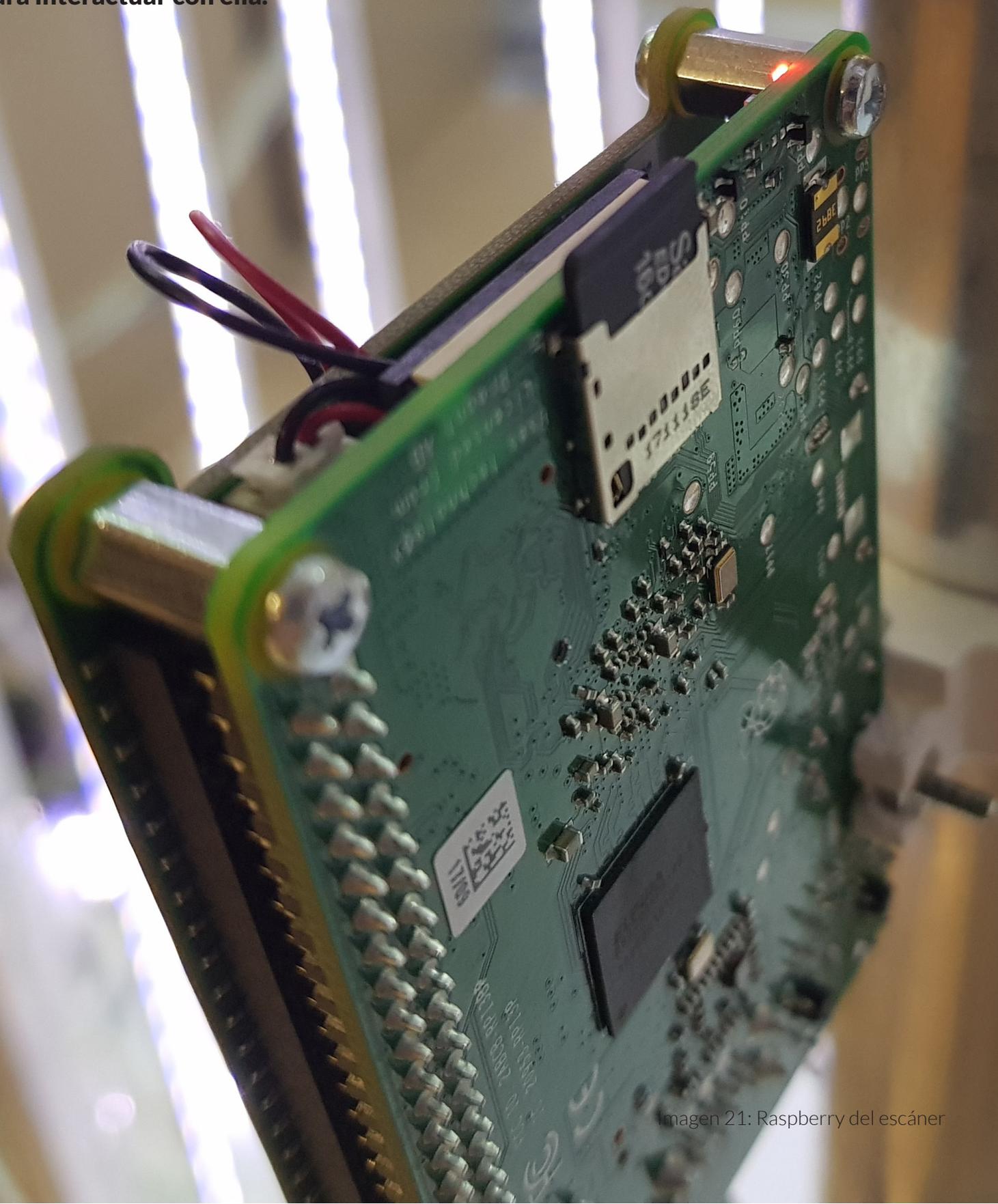


Imagen 21: Raspberry del escáner

## 4.4. OTROS COMPONENTES

Aunque los componentes que realizan las funciones principales del sistema son los mencionados anteriormente, existen otros que son imprescindibles ya que se encargan de procesar toda la información transmitida por los anteriores así como de las labores de gestión y control de todos los datos.

### 4.4.1. SWITCH POE

Uno de los puntos fuertes del diseño de este proyecto es la optimización del número de cables existente en él, por lo que se ha añadido el módulo POE a las Raspberry.

Por otro lado, necesitamos un elemento que recoja todas las informaciones provenientes de las raspberry y las gestione en un único ordenador. Para ello tenemos un switch POE, que será el encargado de gestionar la Red de todas las Raspberry y conectarlas al ordenador.

Es uno de los componentes fundamentales de todo el proyecto, así como uno de aquellos que más atención requieren ya que una correcta configuración y organización de todas sus salidas nos asegurará unos buenos resultados posteriormente ya que será mucho más fácil gestionar la red creada con todas las Raspberry.

Aunque posteriormente se profundizará en el concepto de la tecnología POE, ésta proviene de la posibilidad de eliminar un cable de alimentación siempre y cuando podamos emplear el de la red para transmitir la electricidad necesaria para el correcto funcionamiento de la placa. El Power On Ethernet se basa en incluir alimentación eléctrica en una red LAN estándar.

El switch, a parte de alimentar las raspberry, nos va a crear toda una red a la cual pertenecerán todas las raspberry que incluyamos en el sistema, el propio switch así como el ordenador de control. Esto nos asegurará poder estar en comunicación constante entre todos los elementos que forman el sistema, y poder desarrollar todas las aplicaciones y funcionalidades de control y de manejo del sistema integrado en un único programa.



Imagen 22: Switch del escáner

## 4.4.2. CONTROL DMX ILUMINACIÓN

Para poder controlar todos los colores posibles de la iluminación, emplearemos un sistema de control por ordenador basado en el protocolo DMX, que permitirá otorgar colores determinados de luz e intensidad a cada poste, crear escenas y guardarlas así como encontrar la luz más adecuada en cada ocasión.

Es una de las formas más extendidas internacionalmente de controlar la iluminación y ofrece multitud de posibilidades en cuanto al manejo de todos los componentes lumínicos del sistema así como a su gestión.

Además, el software de control es un software libre, por lo que cabría la posibilidad de crear un script que aunara el escaneado y la gestión de la luz en un sólo programa, como así se refleja en las acciones previstas en el futuro sobre este proyecto.

## 4.4.3. FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Aunque las Raspberry van alimentadas mediante la señal que le llega del Switch, necesitaremos fuentes de alimentación para poder dar corriente a toda la iluminación.

Finalmente, al seleccionar unas tiras de LED de cuatro canales que combinan un chip RGB y otro blanco, necesitaremos unas fuentes de alimentación más potentes ya que, al intercalar led de color y led blancos estamos duplicando el número de LED del sistema.

Por ello, y en previsión de los ocho postes de luz que tenemos en el proyecto, se estimó necesario adquirir dos fuentes de alimentación ya que cada una posee dos salidas para alimentar el dmx, que a su vez alimenta las luces.



Imagen 23: Fuente de alimentación

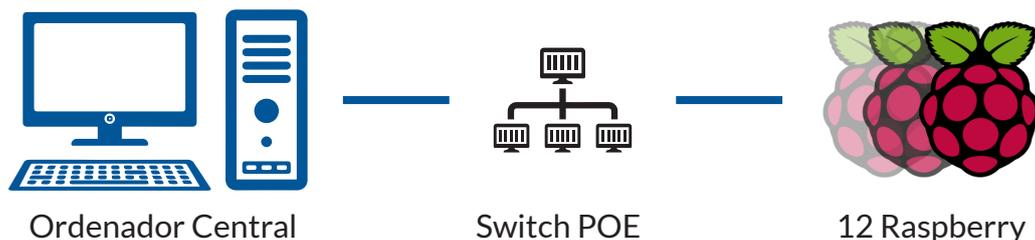


Imagen 24: Interfaz DMX

# CONTROL RASPBERRY

5

Tal y como se ha planteado en la explicación de este trabajo, las Raspberrys van a ser controladas a través de un ordenador central el cual estará conectado al switch al que llegarán todas las raspberrys. El esquema de elementos quedaría como la siguiente imagen:



Una vez colocadas todas las Raspberry en sus correspondientes postes, se les conecta el cable RJ45 Ethernet previamente preparado, y se le asigna una salida RJ45 del Switch. De esta manera se cablean todas, siguiendo un orden a la hora de asignar las salidas.

Para que el modulo POE funcione, el cable ethernet encargado de la conexión de cada máquina debe haber sido crimpado siguiendo un orden en los colores siendo tal que:

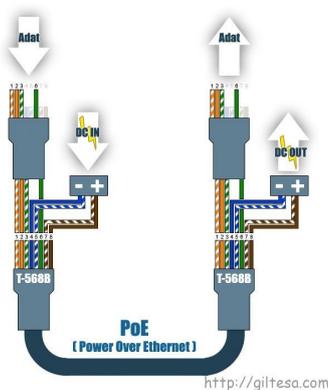


Imagen 25: POE

De los 8 pines que tiene un cable Ethernet, la raspberry solo necesita 4 para transmitir y comunicarse con el ordenador, por lo que quedan liberados otros 4 pines para destinar a la alimentación.

Si empleamos el módulo POE, él mismo detectará que los pines 4,5,7,8 son los encargados de transmitir la corriente mientras que los pines 1,2,3,6 son los que enviarán la información.

Una vez realizadas todas las conexiones, y tras comprobar que llega corriente a todas las raspberry, crearemos la red de raspberry asignándole de esta manera una IP Fija a cada una, que luego emplearemos para comunicarnos desde el ordenador principal, previamente habiendo configurado su IP adaptándola a la del Router. En nuestro sistema quedaría:

RASPBERRY	IP	RASPBERRY	IP
POSTE 1 RASP 1	10.90.90.1	POSTE 4 RASP 1	10.90.90.7
POSTE 1 RASP 2	10.90.90.2	POSTE 4 RASP 2	10.90.90.8
POSTE 2 RASP 1	10.90.90.3	POSTE 5 RASP 1	10.90.90.9
POSTE 2 RASP 2	10.90.90.4	POSTE 5 RASP 2	10.90.90.10
POSTE 3 RASP 1	10.90.90.5	POSTE 6 RASP 1	10.90.90.11
POSTE 3 RASP 2	10.90.90.6	POSTE 6 RASP 2	10.90.90.12

Creando esta configuración de red, todas pertenecerán a la misma red del Switch que está configurada en IP= 10.90.90.90, por lo que podremos comunicarnos posteriormente con cada una de ellas incluido el ordenador principal, cuya IP=10.90.90.89.

Una vez asignadas las IP a cada una de las raspberry, ya podemos acceder a cada una de ellas desde el ordenador central mediante un programa de VNC. Se trata de un sistema de control Servidor-Cliente, de manera que a través de un programa desde el ordenador principal (Cliente) podemos acceder remotamente a controlar la raspberry (Servidor).

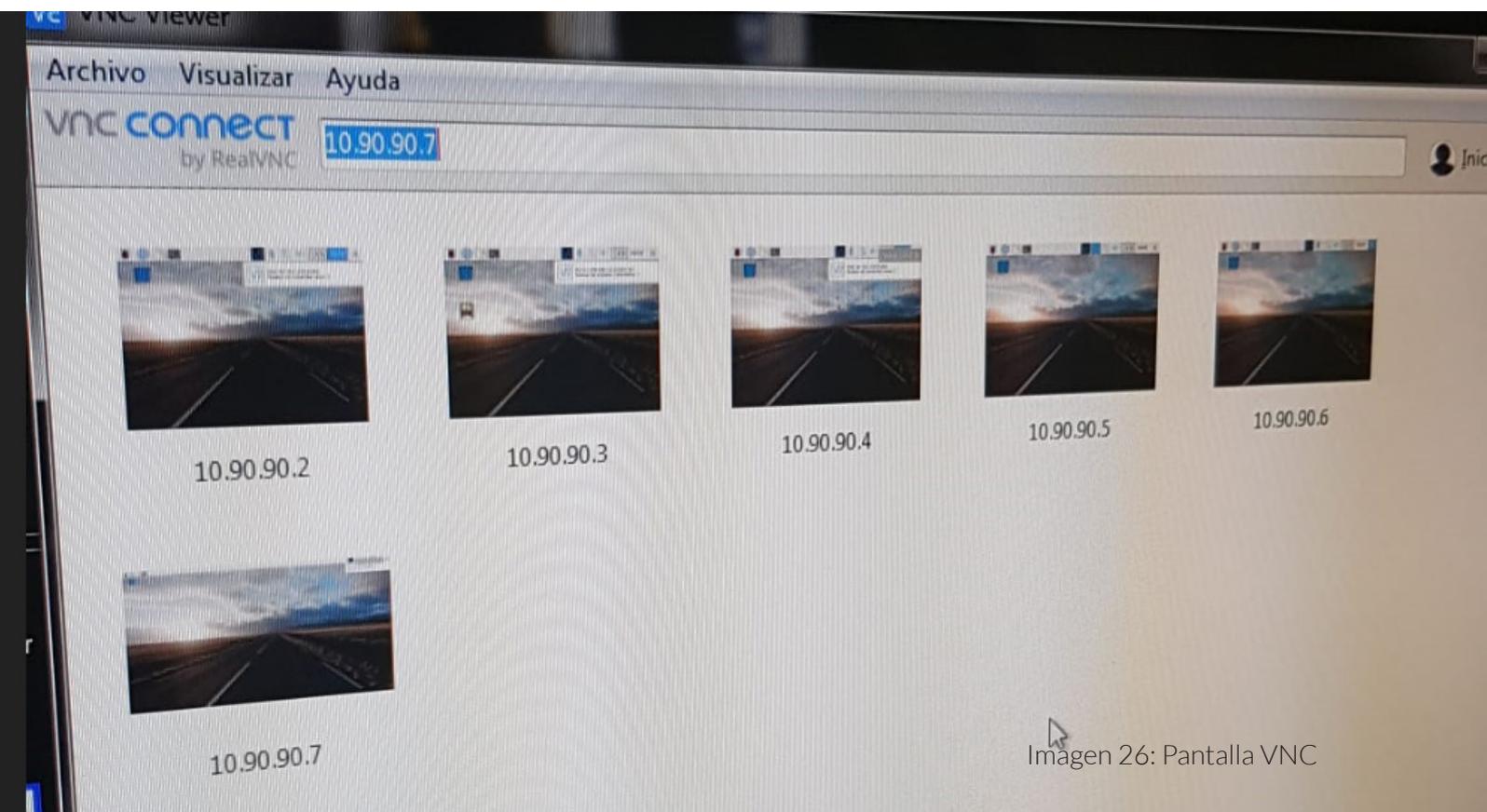


Imagen 26: Pantalla VNC

Desde este programa, creando un enlace a cada Raspberry, podremos acceder al sistema de control individual de cada una de ellas. De esta manera podremos lanzar un mismo comando desde el ordenador principal a cada raspberry, para darle órdenes como la de captura de imagen.

Por lo tanto para controlar las raspberrys simplemente habrá que acceder a cada una de ellas, y ejecutar los comandos correspondientes. Desde el ordenador principal también podremos descargar los archivos capturados desde la raspberry hasta el ordenador principal.

Mediante este programa, podemos realizar un intercambio entre los archivos del equipo remoto y el equipo servidor, pudiendo pasar de esta manera la imagen capturada que se ha almacenado en la raspberry a nuestra carpeta local del ordenador principal, unificando de esta manera todas las imágenes.

En el capítulo de captura se explicará la acción que realiza la raspberry para capturar la imagen.

A lo largo del proceso de configuración y programación de todas las Raspberry, surgieron una serie de imprevistos y de problemas que hicieron retrasar el desarrollo del trabajo.

Esta fue la parte más complicada, ya que se trataba de un entorno nuevo, y a la hora de instalar todas las Raspberry, nos encontramos con dos versiones de Sistema Operativo diferentes, entre las cuales había diferencia en la forma de gestionar los ficheros de redes, que era la principal configuración que nosotros íbamos a realizar.

Como hemos visto, cada Raspberry necesitaría una IP estática para poder comunicarnos con ella y asignarle una salida del switch. Para conseguir esa IP estática hay que seguir una serie de comandos que permiten llegar hasta la modificación de la IP de la Raspberry como la máscara de subred así como a determinar el orden de preferencia de conexión, ya que este modelo de Raspberry también dispone de módulo wifi.

Por ello, la configuración que debíamos aplicar a cada raspberry era la de situar la red Ethernet (eth0) como prioritaria, que se conectase automáticamente y le asignase la IP que le hayamos marcado.

Para conseguir esto hay que seguir un meticuloso proceso de comandos, cuya misión es ir modificando los ficheros de la carpeta raíz del sistema de la Raspberry.

Para determinar que configuración de redes estábamos empleando se emplea el comando:

```
ip link
```

Obteniendo:

```
1: lo: <LOOPBACK,UP,LOWER_UP> mtu 65536 qdisc noqueue state UNKNOWN mode group default qlen 1
    link/loopback 00:00:00:00:00:00 brd 00:00:00:00:00:00
2: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc pfifo_fast state DEFAUL group default qlen
    1000
    link/ether 8b:27:be:d3:ce:58 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
```

Como podemos apreciar, no aparece una IP asignada, ya que por defecto tiene una IP dinámica que establece en cada conexión.

Para acceder al archivo y modificar la IP:

```
sudo nano /etc/network/interfaces
```

```
# Configuración de dirección IP fija para el interfaz eth0
auto eth0
iface eth0 inet static
address 10.90.90.1/24
netmask 255.255.255.0
gateway 10.90.90.90
```

Tras reiniciar, conseguimos modificar las IP de las Raspberry y solucionar el problema.

# CONTROL ILUMINACIÓN



La iluminación tiene una gran importancia en el escáner ya que permitirá mejorar las condiciones de captura para obtener un mejor mapeado del objeto posterior. Por ello se ha establecido un sistema de control de la iluminación programable para obtener en cada momento el tono de color y la intensidad de luz que más favorecen a la superficie del objeto a escanear.

Este control se realiza mediante un sistema de DMX, protocolo de iluminación utilizado internacionalmente para el control de sistemas de luz escénica, ambiental...

La iluminación escogida para los postes verticales ha sido una tira de led de 3 colores primarios más blanco, RGBW (Red, Green, Blue, White) con la posibilidad de crear de esta manera cualquier combinación de color. A lo largo de todo el escáner disponemos de 8 postes, por lo que crearemos un sistema de control de 8 elementos individuales, que en un momento dado se nos permita controlar individualmente para adaptarse a las condiciones del escaneo.

En el protocolo DMX, el control se realiza por canales, asignando a cada canal un valor entre 0 y 255. Este valor determinará la intensidad de cada canal, y cada poste dispondrá de cuatro canales, una por cada color primario y blanco. De esta manera, asignando diferentes valores a cada canal, conseguiremos millones de tonos. La tabla de canales programada en el ordenador de control es:

CANAL	LUZ	CANAL	LUZ
1	POSTE 1 ROJO	17	POSTE 5 ROJO
2	POSTE 1 VERDE	18	POSTE 5 VERDE
3	POSTE 1 AZUL	19	POSTE 5 AZUL
4	POSTE 1 BLANCO	20	POSTE 5 BLANCO
5	POSTE 2 ROJO	21	POSTE 5 ROJO
6	POSTE 2 VERDE	22	POSTE 5 VERDE
7	POSTE 2 AZUL	23	POSTE 5 AZUL
8	POSTE 2 BLANCO	24	POSTE 5 BLANCO
9	POSTE 3 ROJO	25	POSTE 5 ROJO
10	POSTE 3 VERDE	26	POSTE 5 VERDE
11	POSTE 3 AZUL	27	POSTE 5 AZUL
12	POSTE 3 BLANCO	28	POSTE 5 BLANCO
13	POSTE 4 ROJO	29	POSTE 5 ROJO
14	POSTE 4 VERDE	30	POSTE 5 VERDE
15	POSTE 4 AZUL	31	POSTE 5 AZUL
16	POSTE 4 BLANCO	32	POSTE 5 BLANCO

En el ordenador de control, y para facilitar el uso, se han establecido unas configuraciones de color predeterminadas para que simplemente con accionar un botón se puedan encender todos los postes con blanco, blanco cálido o blanco frío sin necesidad de ir encendiendo y asignando colores a cada uno de ellos.

En la Imagen () se puede apreciar el controlador DMX que nos permite controlar la iluminación de los ocho postes que conforman el proyecto. En este decodificador encontramos aplicada la tabla de direcciones en el que podemos ver las ocho salidas de iluminación, la entrada de alimentación y la entrada de la señal DMX desde el ordenador.

En las salidas para la iluminación encontramos 5 cables, siendo uno la alimentación de la tira y los otros cuatro los canales con los que trabajamos en cada poste (RGBW).

La selección de este tipo de iluminación nos permite encontrar muchísimos más ajustes de color en función de las superficies que vayamos a intentar escanear. La opción de introducir una tira RGB y no una blanca solo era con el fin de adaptar la emisión de color en cada caso para encontrar una iluminación lo más homogénea posible y que realce la textura a escanear.

Finalmente nos decantamos por una iluminación RGBW, que combina las dos posibles opciones anteriores, permitiéndonos de esta manera conseguir el blanco neutro y el blanco compuesto, ganando intensidad de luz y gamas del espectro cromático.

Cuando en el DMX, por ejemplo subimos el canal rojo del poste 1, quiere decir que estamos mandando señal por el cable rojo de la salida 1, encendiendo así los led en color rojo.

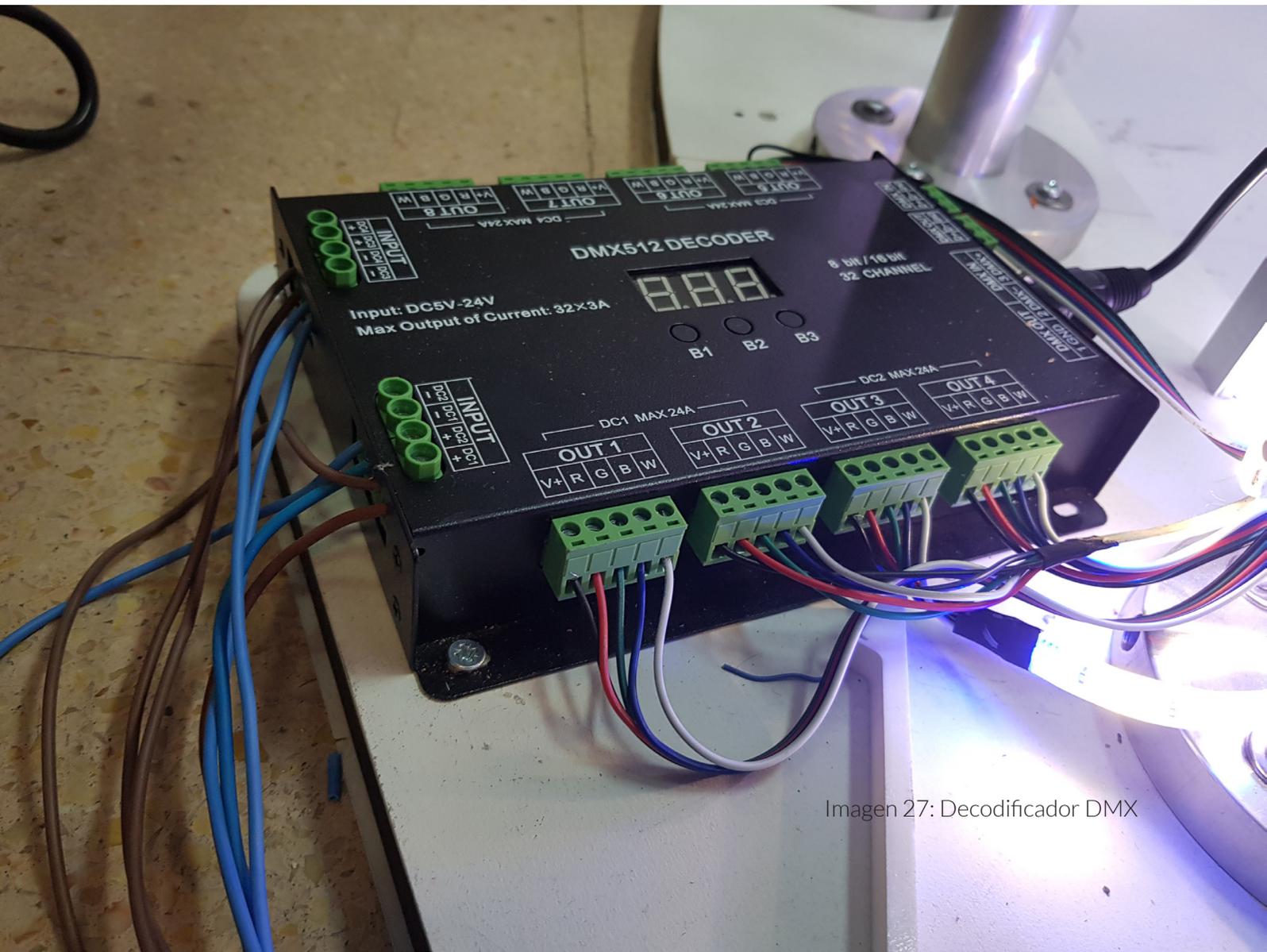


Imagen 27: Decodificador DMX

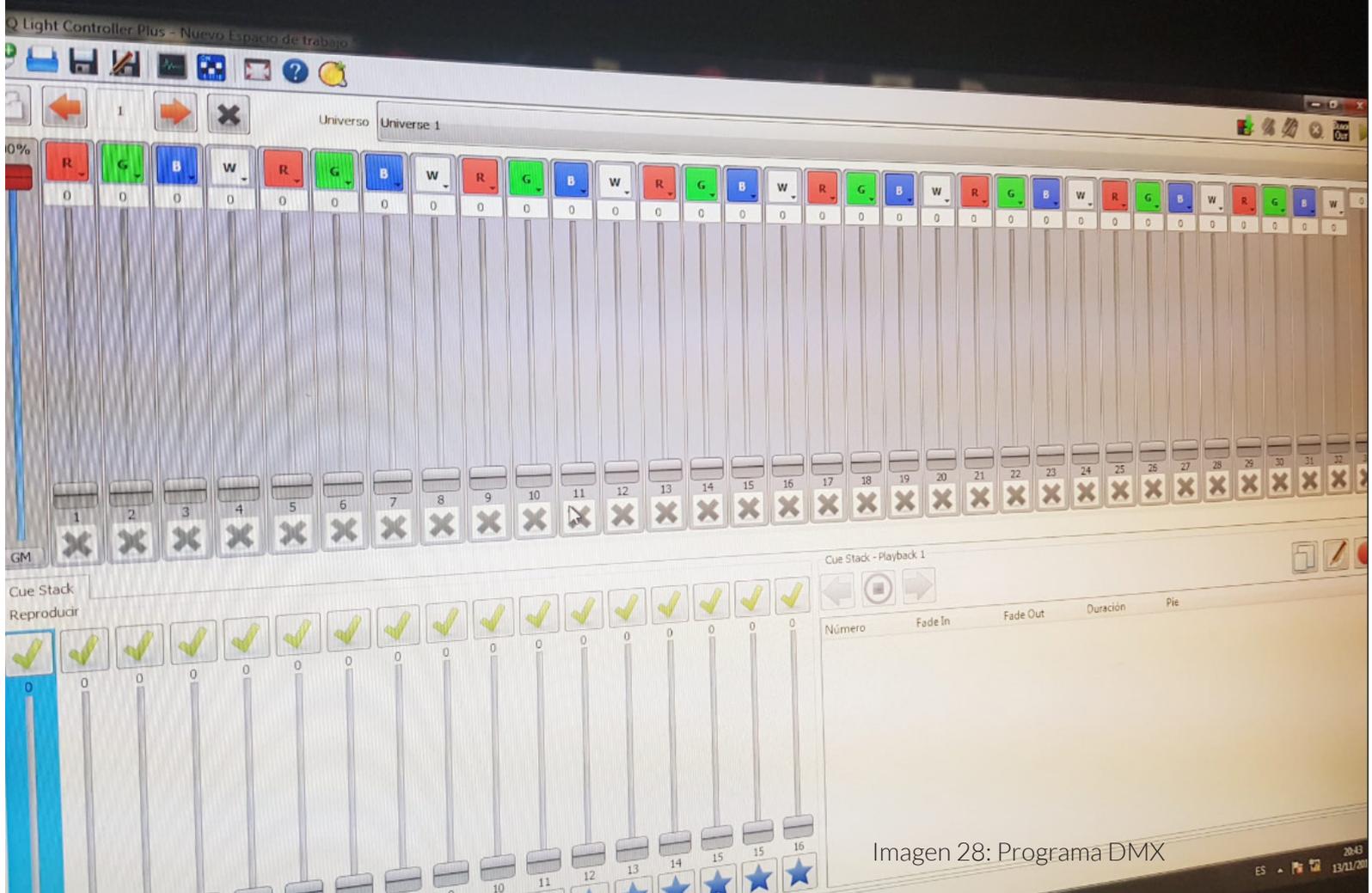


Imagen 28: Programa DMX

Desde el ordenador, y a través de una interfaz DMX y un programa de Software Libre, podemos controlar el decodificador de la imagen (Imagen 27).

En el programa tenemos una gran consola llena de faders, correspondiendo cada uno a un canal. De esta manera podemos asignar el valor de color que queremos a cada poste, consiguiendo un ajuste óptimo que no se podría conseguir de otra manera.

Esto nos permite también crear escenas y guardarlas, de manera que si frecuentemente escaneamos objetos con unas características determinadas que le benefician unos tonos de color en concreto, podemos grabarlos y crear un botón, de manera que pulsando ese botón todos los canales tomarán como valor el correspondiente al momento en el que fueron grabados.

Mediante este procedimiento establecimos una serie de escenas pregrabadas, desde las R G B primarias hasta las tres posibles versiones de blanco que surgen de encender sólo los led W, de encender los led W y R obteniendo un blanco cálido y de encender los led W y B, obteniendo así un blanco más frío.

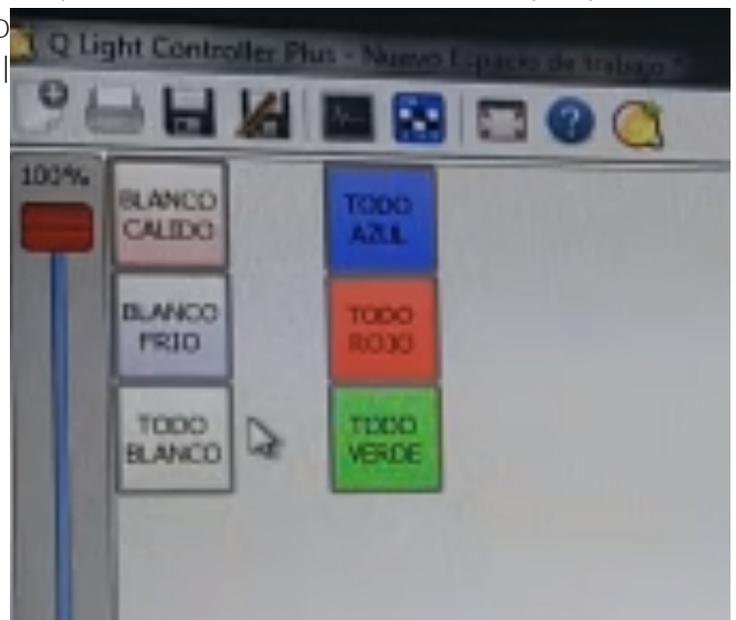


Imagen 29: Programa DMX

# PROCESO DE CAPTURA



El proceso de captura se realizará desde el ordenador principal, ya que gracias al sistema de control que tenemos sobre todas las raspberry, podremos lanzar la orden de capturar en cada una de ellas desde el mismo lugar.

El primer paso que tenemos que hacer es activar la cámara en la raspberry. Este es un paso que sólo tendremos que realizar la primera vez, ya que por defecto estas máquinas no llevan activado el módulo cámara.

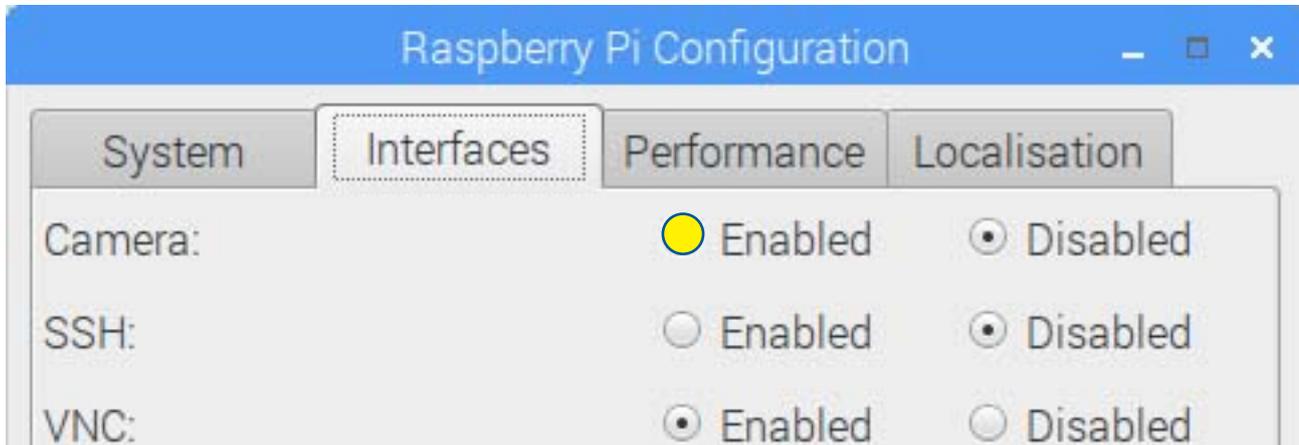


Imagen 30: Configuración Raspberry

Una vez activado en todas, podremos ir lanzando la orden en cada una de ellas. La orden es una serie de comandos, que añadiéndole atributos, le indicarán a la raspberry correspondiente cómo capturar la imagen, cómo guardarla y cómo nombrarla.

De esta manera, el comando inicial sería:

## **raspistill**

A este comando, tendremos que ir añadiendo atributos. Uno de ellos es el nombre con el que queremos que capture la imagen, siendo por ejemplo la raspberry 1:

**raspistill -o CapturaRasp1.jpg**

Otro parámetro importante es la resolución de la imagen, en nuestro caso nos interesa que la imagen tenga una mínima calidad, por lo que una resolución correcta sería:

**raspistill -o CapturaRasp1.jpg -w 1920 -h 1080**

Como cada raspberry tiene una posición determinada, puede que haya que rotar la imagen que captura la cámara para ajustarla a la realidad, en este caso:

**raspistill -o CapturaRasp1.jpg -w 1920 -h 1080 -rot 90**

Por último, podríamos añadir que porcentaje (0 y 100) de calidad queremos siendo:

**raspistill -o CapturaRasp1.jpg -w 1920 -h 1080 -rot 90 -q 100**

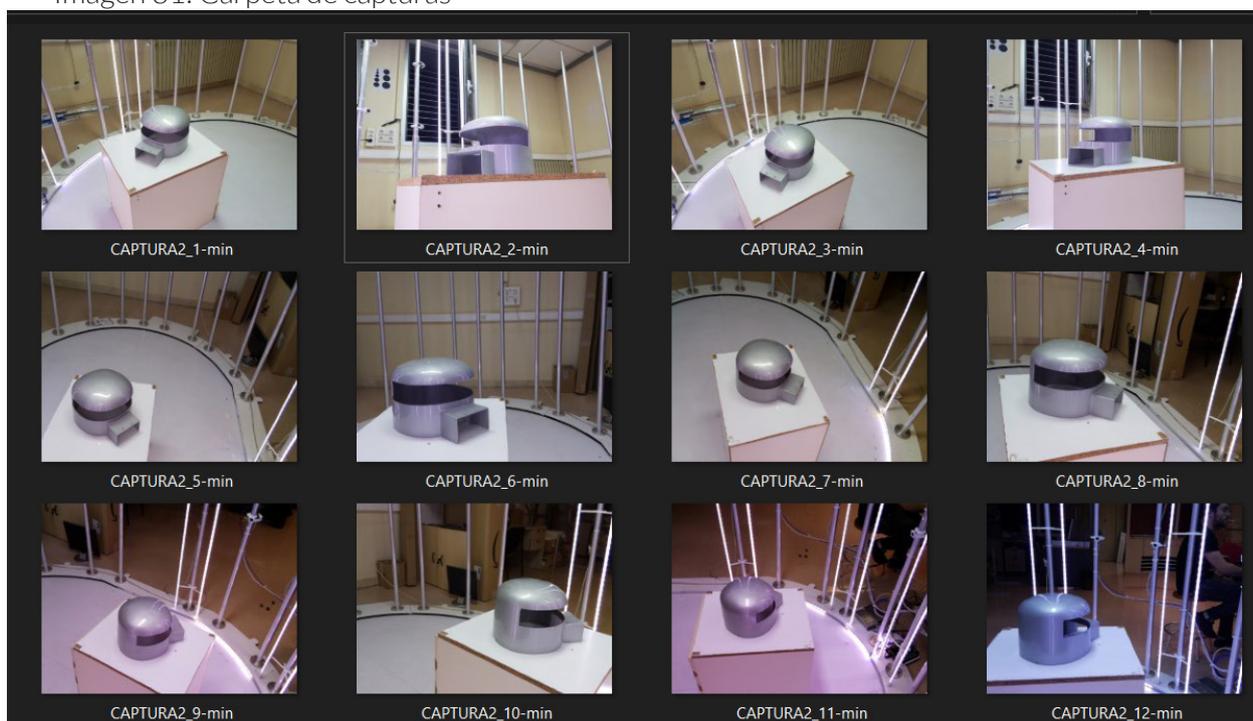
Este sería el proceso de captura de la imagen CapturaRasp1, tomada desde las Raspberry 1, en formato jpg, con una resolución de 1920x1080, una rotación de 90° y sin perder calidad.

Una vez tenemos establecido que tipo de parámetros nos conviene en cada raspberry, podemos crearnos las órdenes y prepararlas para lanzarlas cada una en la terminal que le corresponda, siendo por ejemplo:

POSTE 1	
<b>RASPBERRY 1</b>	<b>RASPBERRY 2</b>
<code>raspistill -o Captura1.1.jpg -w 1920 -h 1080 -rot 90 -q 100</code>	<code>raspistill -o Captura1.2.jpg -w 1920 -h 1080 -rot 90 -q 100</code>
POSTE 2	
<b>RASPBERRY 3</b>	<b>RASPBERRY 4</b>
<code>raspistill -o Captura1.3.jpg -w 1920 -h 1080 -rot 90 -q 100</code>	<code>raspistill -o Captura1.4.jpg -w 1920 -h 1080 -rot 90 -q 100</code>
POSTE 3	
<b>RASPBERRY 5</b>	<b>RASPBERRY 6</b>
<code>raspistill -o Captura1.5.jpg -w 1920 -h 1080 -rot 90 -q 100</code>	<code>raspistill -o Captura1.6.jpg -w 1920 -h 1080 -rot 90 -q 100</code>
POSTE 4	
<b>RASPBERRY 7</b>	<b>RASPBERRY 8</b>
<code>raspistill -o Captura1.7.jpg -w 1920 -h 1080 -rot 90 -q 100</code>	<code>raspistill -o Captura1.8.jpg -w 1920 -h 1080 -rot 90 -q 100</code>
POSTE 5	
<b>RASPBERRY 9</b>	<b>RASPBERRY 10</b>
<code>raspistill -o Captura1.9.jpg -w 1920 -h 1080 -rot 90 -q 100</code>	<code>raspistill -o Captura1.10.jpg -w 1920 -h 1080 -rot 90 -q 100</code>
POSTE 6	
<b>RASPBERRY 11</b>	<b>RASPBERRY 12</b>
<code>raspistill -o Captura1.11.jpg -w 1920 -h 1080 -rot 90 -q 100</code>	<code>raspistill -o Captura1.12.jpg -w 1920 -h 1080 -rot 90 -q 100</code>

Una vez lanzados todos los comandos y recuperadas las fotos, tendremos una carpeta como esta:

Imagen 31: Carpeta de capturas

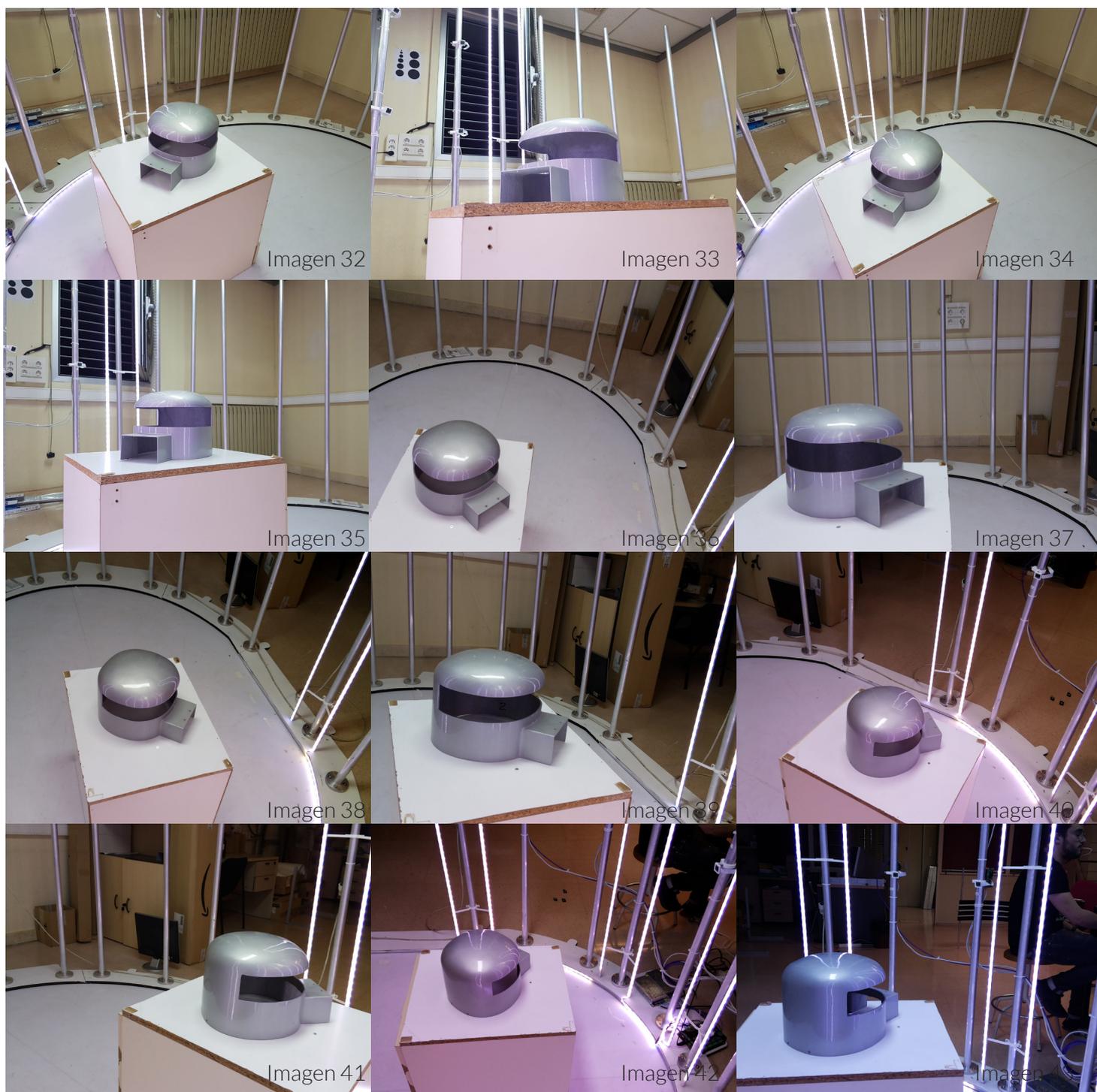


# FOTOGRAMETRÍA



Una vez hemos obtenido todas las imágenes, el trabajo del escáner ha finalizado, ya que esas imágenes ahora van a ser sometidas al proceso de un programa informático que se encargará de encontrar los puntos comunes entre todas las imágenes, reconstruir una nube de puntos con esos puntos, y a raíz de ahí generar una malla que de lugar a un superficie sobre la que generar posteriormente el archivo sólido tridimensional.

El aspecto de las imágenes que le vamos a meter al programa va a ser algo como:



Encontramos numerosos programas para realizar este proceso, como por ejemplo Recap, perteneciente a la familia de Autodesk, o el programa con el que comenzaremos nuestra reconstrucción, Agisoft MetaShape, ambos de pago.

En la fecha de la elaboración de la memoria, no se ha alcanzado el volumen de imágenes necesarias para realizar la reconstrucción por lo que se explicará el proceso basándose en otras reconstrucciones con el fin de ilustrar el procedimiento.

Para la fecha de la defensa de la presente memoria si que habrá una reconstrucción con las imágenes tomadas por el escáner y posteriormente procesadas hasta obtener el modelo tridimensional.

El flujo de trabajo en el programa lo vamos a dividir en 5 pasos, que permitirán obtener a partir de una batería de imágenes de un mismo objeto su representación tridimensional.

El primer paso es **agregar las fotografías** al programa. Este proceso cargará en el programa las fotografías con las que vamos a trabajar posteriormente.

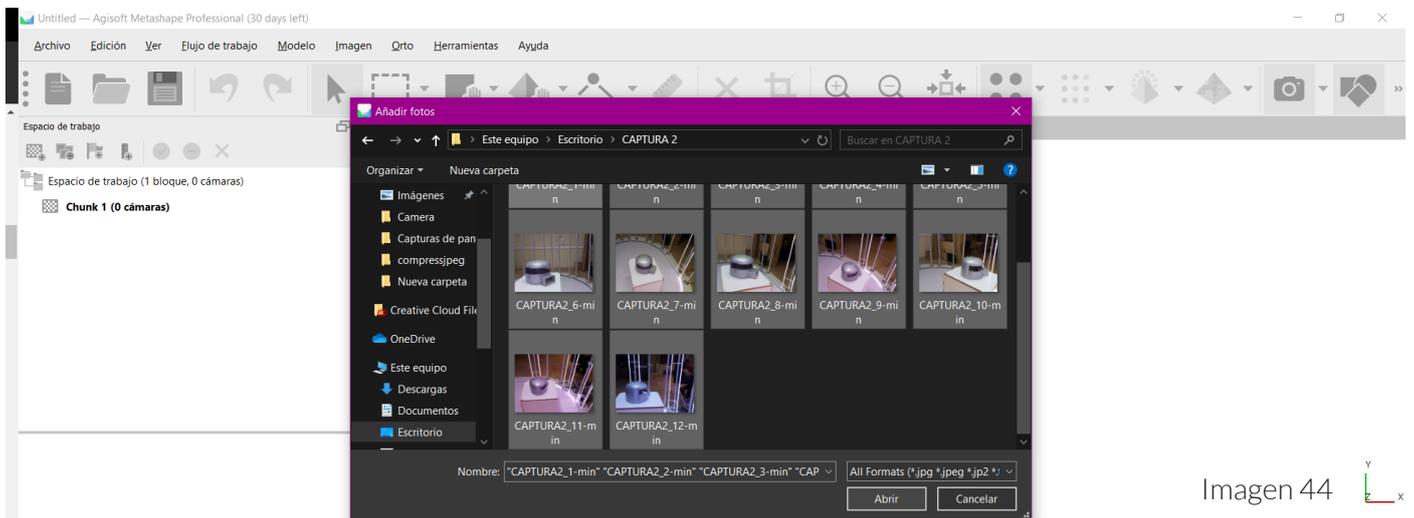


Imagen 44

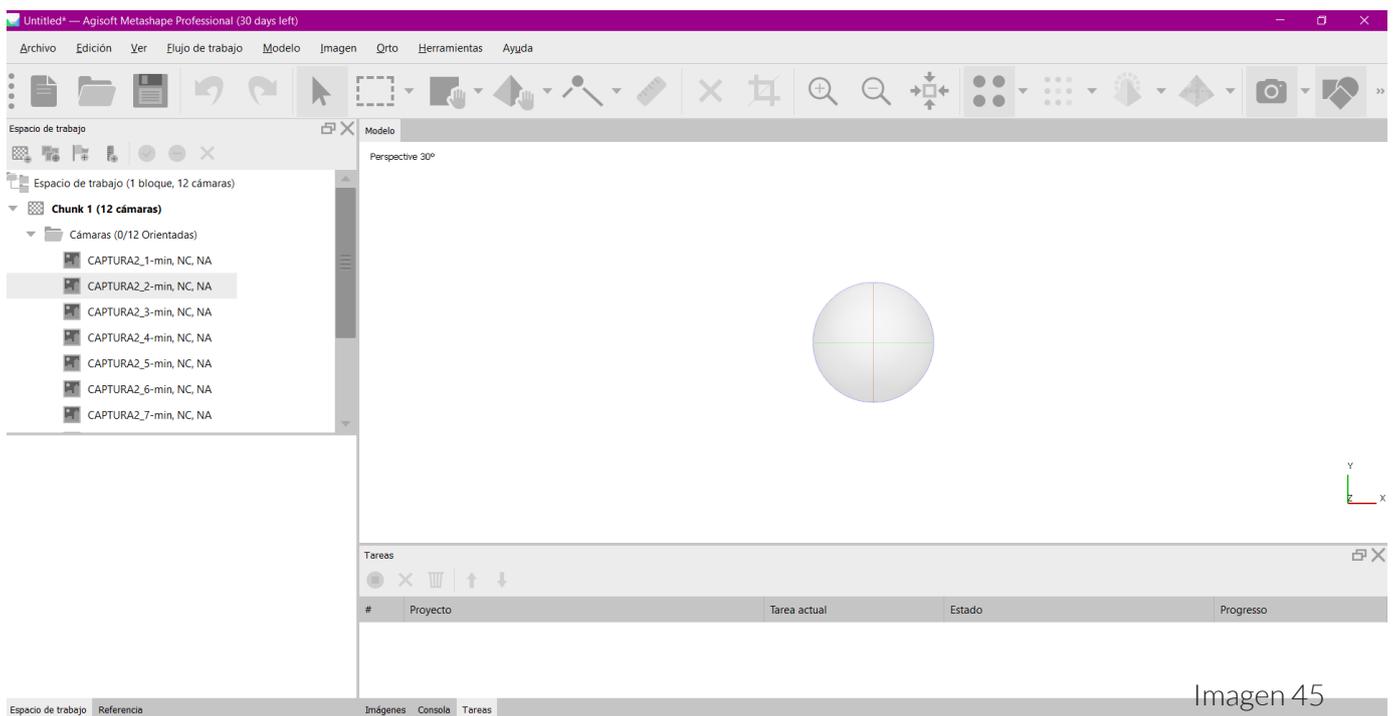


Imagen 45

Una vez que ya tenemos las imágenes cargadas en el programa, el siguiente paso es la **orientación de las imágenes**. Esto significa que el programa va a realizar una alineación de las imágenes basándose en sus puntos comunes para determinar desde dónde fue capturada cada una.

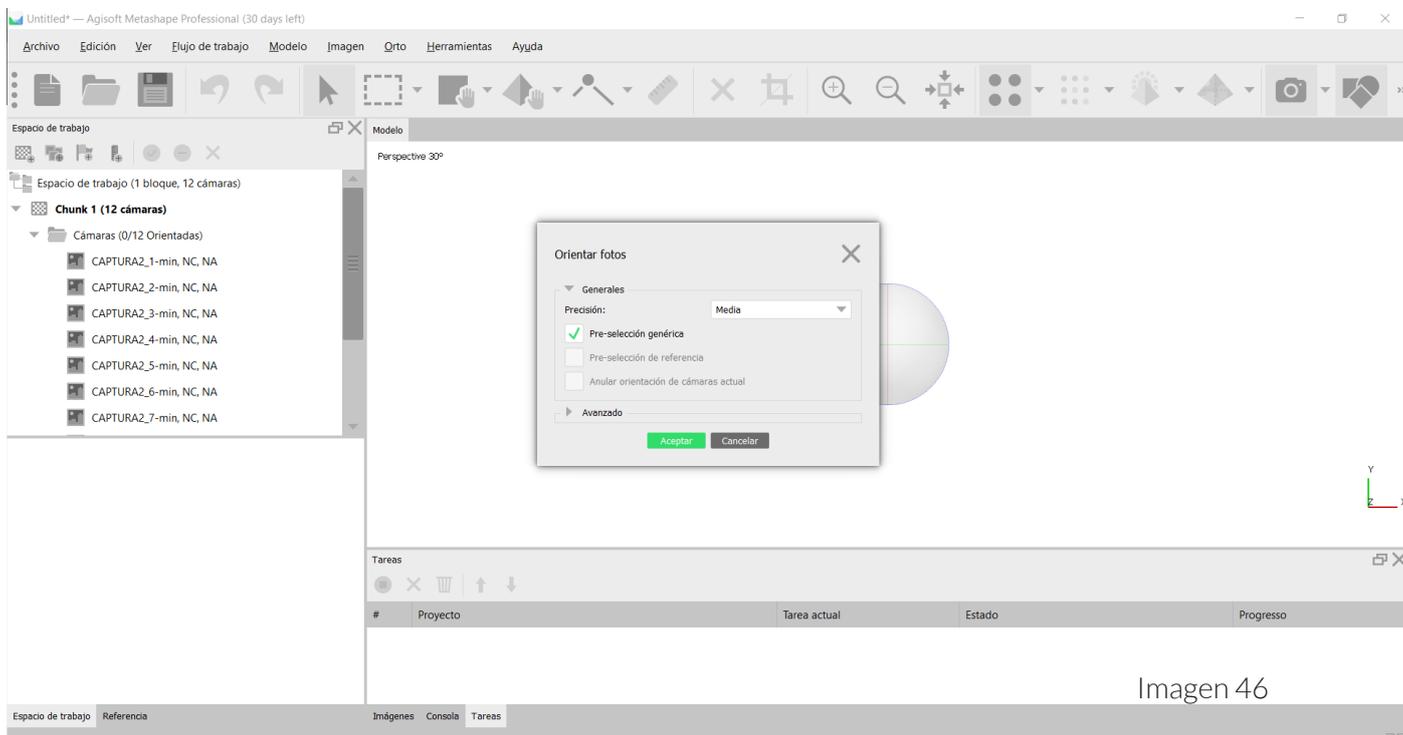


Imagen 46

Una vez alineadas, el programa reconoce dónde ha sido tomada cada imagen y la representa mediante un plano azul.

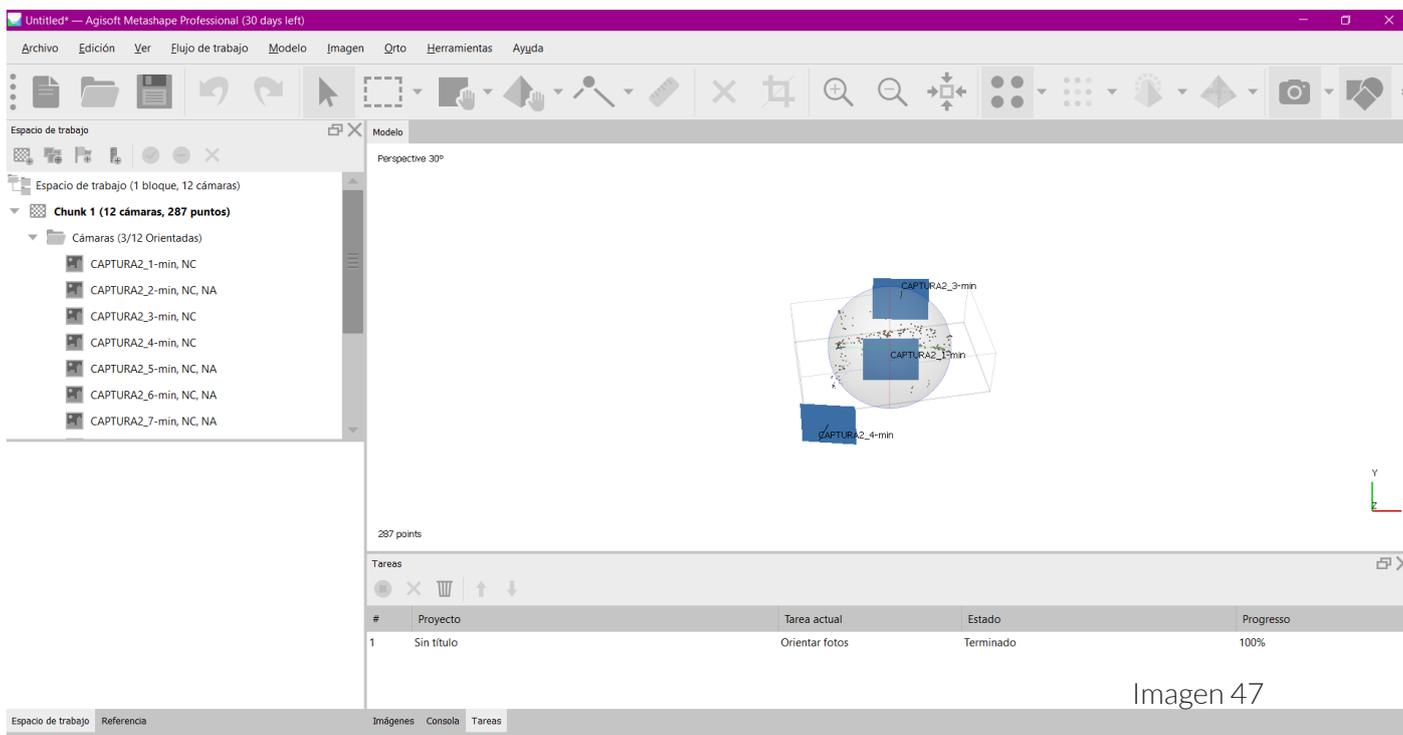


Imagen 47

El siguiente paso será optimizar las cámaras para quedarnos solo con el área donde encontramos información de interés y descartar el ruido externo.

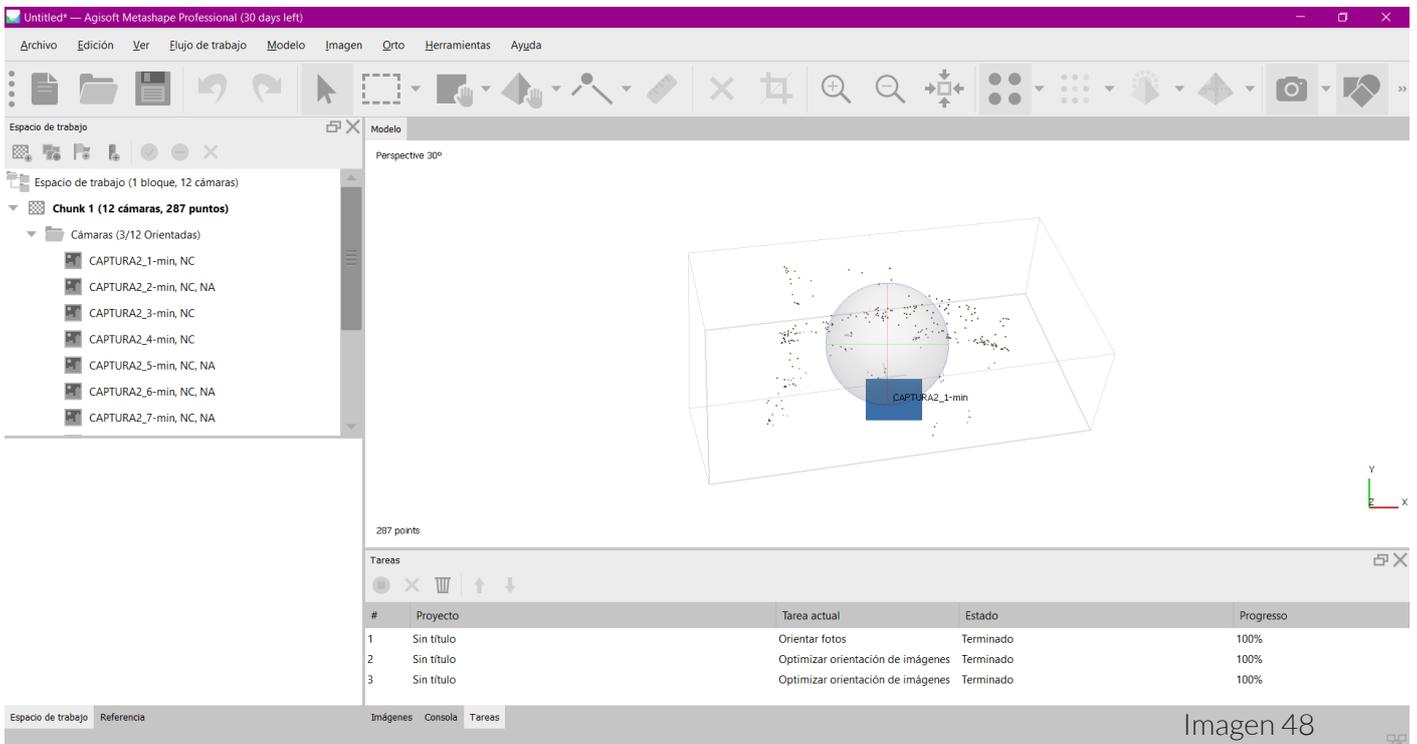


Imagen 48

Si quedase algún punto fuera del área optimizada, tendríamos que hacer una limpieza de la nube de puntos dispersa, de manera que nos quedemos sólo con la información que va a aportar en la reconstrucción, de lo contrario podríamos distorsionar el resultado final.

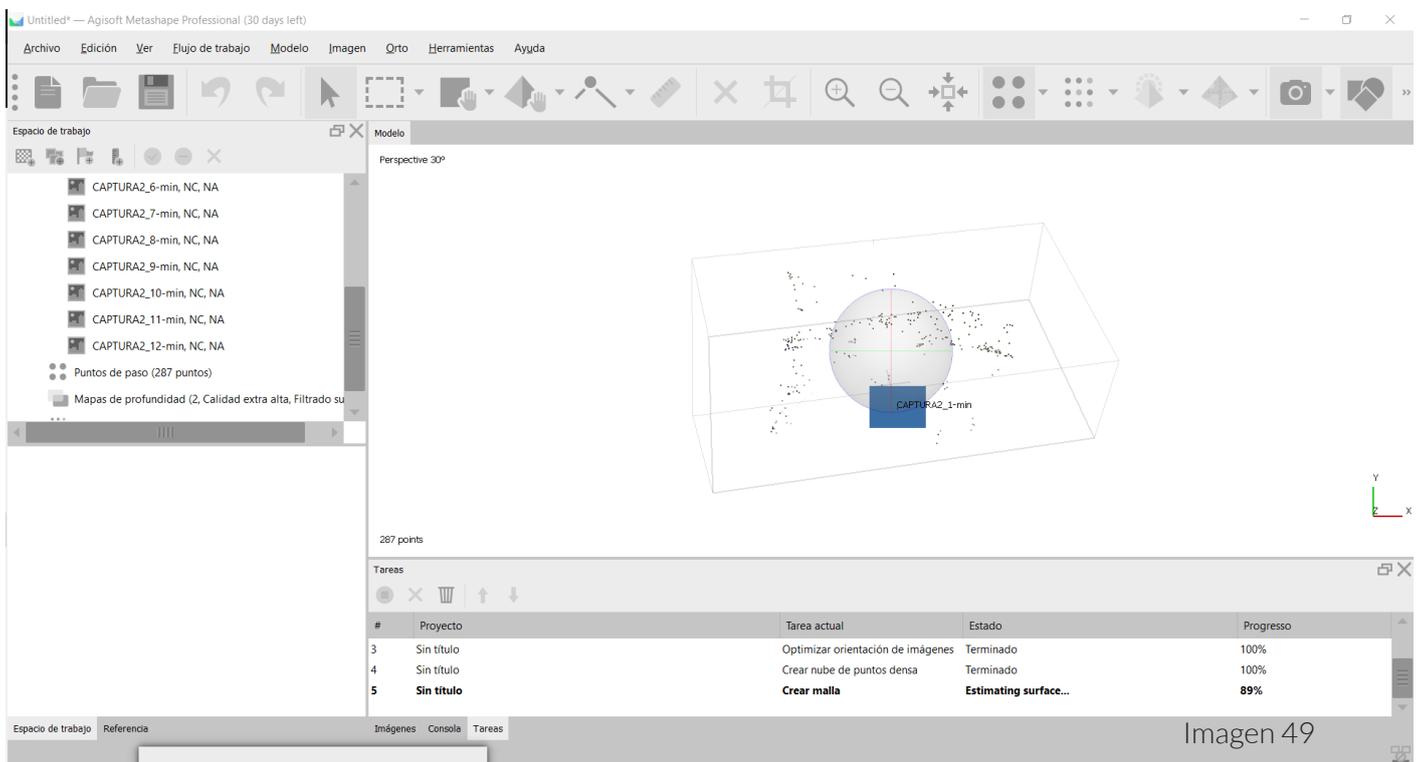
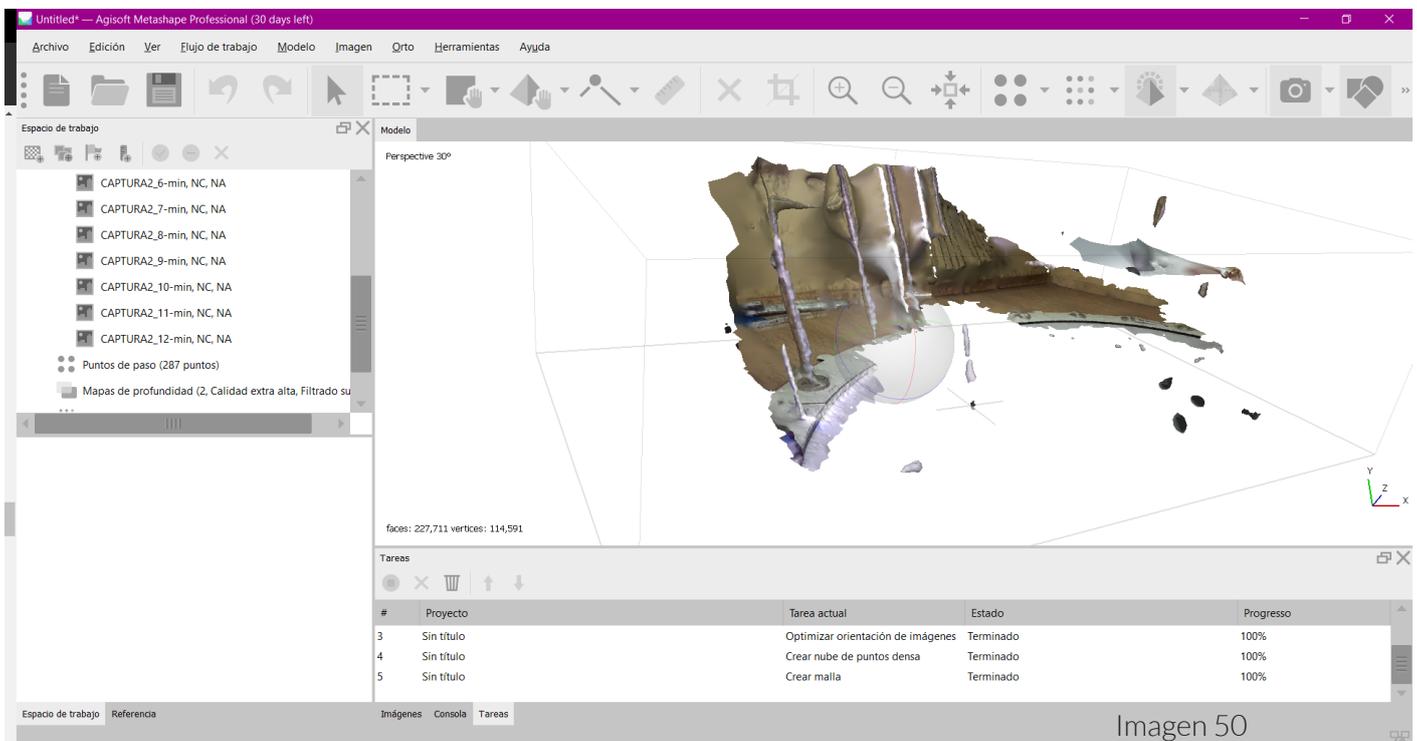


Imagen 49

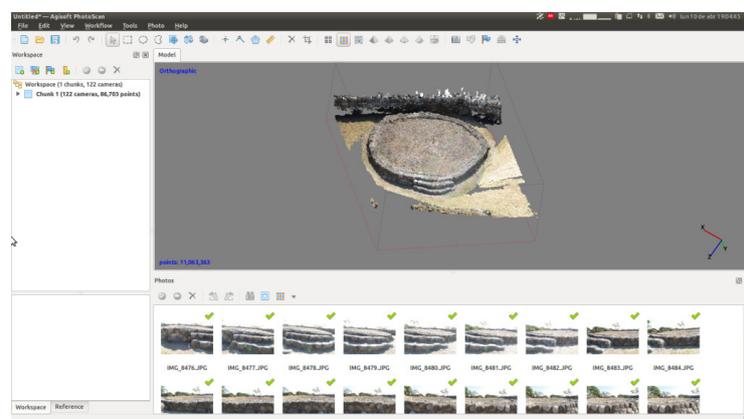
Como nuestra nube de puntos era muy pobre, apenas podemos ver la nube densa de puntos, no obstante si seguimos con el proceso y generamos la malla a partir de la nube de puntos, el programa interpreta los puntos y llega a generar un entorno 3D perteneciente a las fotografías que le hemos introducido en el primer paso al programa.



En la malla que nos ofrece el programa se puede llegar a intuir algo de las fotos originales. Estos resultados tan pobres, se deben a que el volumen de imágenes con el trabajo el programa es muy pequeño que apenas puede generar un entorno tridimensional con la información que tiene.

Cuando realicemos el siguiente escaneo y generemos diferentes imágenes, el programa tendrá más referencias y podremos conseguir una nube de puntos más elaborada que de lugar a una malla del objeto que hemos escaneado.

A modo de ejemplo, una nube de puntos densa con la que poder generar una malla sería una como la de la (Imagen 51)



Una vez obtenida la malla, podríamos generar el sólido y así poder obtener mediante impresión tridimensional una copia de lo que hemos escaneado.

# SECUENCIA DE USO



A modo de conclusión del trabajo, resulta útil realizar una secuencia de uso real para remarcar los momentos importantes del uso del escáner.

Previamente, el escáner ya ha sido configurado y programado por lo que la tarea de escanear un objeto no debe demorar mucho tiempo ni esfuerzo. El flujo de trabajo se dividiría en tres pasos, que sirven también como resumen de este proyecto.

# 1

---

En primer lugar tras encender el escáner, tendremos que situar el objeto a escanear en el centro del escáner y establecer qué parámetros vamos a requerir en función de cómo sea la pieza, qué resultado queramos... Podremos crear un color específico para la iluminación y conseguir que resalte algún detalle de la superficie difícil de capturar o bien podremos emplear un preset de iluminación ya programado.

Una vez tengamos la iluminación clara, debemos acceder a las raspberry via VNC para mandarles la orden de capturar imagen, previamente habiendo establecido un nombre para las capturas así como los parámetros fotográficos necesarios.

# 2

---

Una vez ya está todo configurado y preparado, procedemos a lanzar la orden a todas las raspberry y recuperamos en una carpeta las imágenes capturadas.

# 3

---

Por último, si las imágenes obtenidas son de nuestro agrado, podemos realizar una reconstrucción por fotogrametría y obtener una malla tridimensional sobre la que poder trabajar en siguientes procesos, como por ejemplo la impresión 3D.



# CONFIGURAR

Imagen 52



# ESCANEAR

Imagen 53

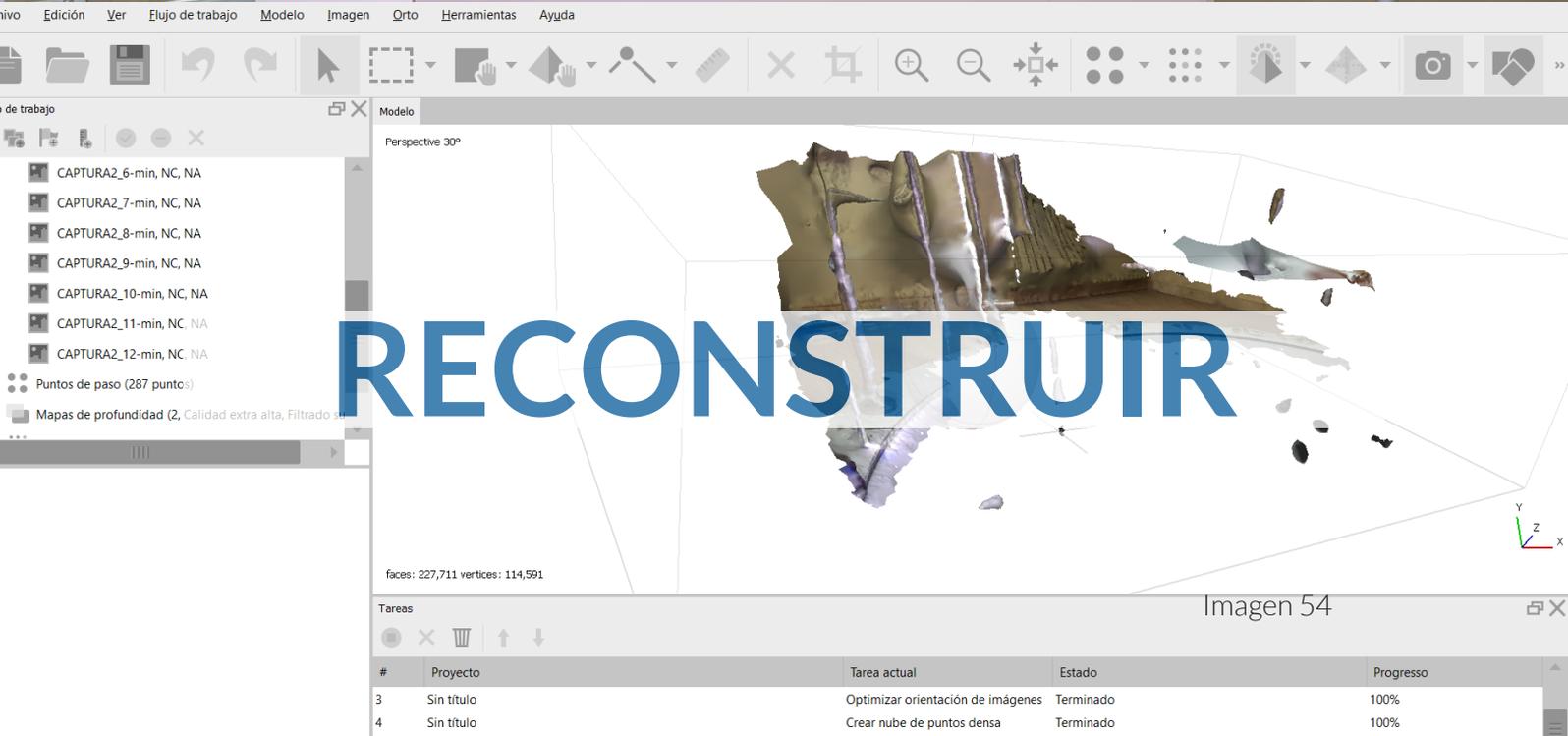


Imagen 54

# ACCIONES FUTURAS

10

En referencia a lo que se ha dicho en la explicación general del escáner, existen diferentes vías de trabajo futuro que permitan seguir progresando desde esta versión inicial hasta otras más elaboradas, más automatizadas y con más opciones.

Entre los pasos a seguir en el futuro estarían:

### **1. Ampliación de la red de cámaras para obtener un escaneo 360°**

**2. Automatización del proceso de captura.** Aunque actualmente todo se realiza desde el ordenador principal, esta tarea puede resultar ardua ya que hay que ir lanzando la orden en cada raspberry, con los problemas que estos supone, ya que si estamos escaneando un objeto fijo no se presenta mayor problema, pero si estamos escaneando un objeto animado, como por ejemplo una persona, la diferencia de segundos entre las diferentes capturas pueden suponer un leve movimiento en el objeto, que se verá reflejado a la hora de recomponer las imágenes.

Este proceso se podría conseguir mediante la implementación de un script que llamase a todas las raspberries y les lanzase la orden a la vez, devolviendo en la misma carpeta las imágenes capturadas por cada una de ellas.

**3. Implementación de un sistema de proyección que permita mapear texturas sobre las superficies de los objetos a escanear.** A la hora de realizar una reconstrucción por fotogrametría, resulta muy útil tener puntos de referencia en la superficie. Ésto lo podríamos conseguir proyectando a modo de mapping sobre las superficies que estamos escaneando, una serie de patrones que, posteriormente nos servirían para casar las imágenes con mayor facilidad.

**4. Implementación de un script que incluya el control de la iluminación.** Para conseguir la mayor automatización posible, una de las posibles vías de desarrollo sería la de implementar un script que permitiera crear perfiles de objetos, a los cuales se asignaría que tipo de objeto es, que tipo de iluminación necesita, que tipo de proyección y que resolución y propiedades de fotografía.

Esto automatizaría completamente el proceso, ya que se podría lanzar la orden incluso desde un ordenador ajeno al ordenador de control.

Son muchas las opciones de desarrollo del escáner, que sin duda seguiremos explorando en el futuro con el fin de obtener unos mejores resultados y explotar al máximo las diferentes posibilidades que ofrece esta tecnología.

# VALORACIÓN FINAL



Personalmente, el desarrollo de este trabajo me ha supuesto un reto tanto personal como profesionalmente. Desde el primer momento tenía claro que me gustaría dedicar el trabajo final de mis estudios al desarrollo de alguna máquina de prototipado. Desde joven he estado trabajando con impresoras tridimensionales y este trabajo me suponía un reto ya que nunca me había enfrentado a la programación de un componente como son las raspberry.

Todo ello ha estado marcado por la motivación de trabajar en algo en lo que personalmente crees, y te gusta, ya que cada logro conseguido supone un paso hacia la consecución completa de los objetivos. Además, la posibilidad de haber incluido otra de mis pasiones, como es la iluminación y el control de ésta, ha supuesto un aliciente extra para emprender con ganas este reto.

Al principio todo parecía un poco confuso, ya que se me presentaban muchas dificultades, que con horas de trabajo, de búsqueda y de ayuda del tutor se fueron superando y cada vez iba avanzando más hacia los objetivos finales.

Uno de los puntos que más me ha costado ha sido la programación y la configuración de todas las raspberry, ya que fueron surgiendo una serie de problemas que iban complicando el desarrollo temporal del proyecto pero que sin duda, no han podido entorpecer los objetivos.

Personalmente me siento muy entusiasmado con los resultados obtenidos ya que, aunque considero que le falta mucho trabajo posterior tal y como aparece reflejado en el capítulo de actuaciones futuras, considero que se ha logrado un nivel de funcionamiento muy decente y digno para ser la primera versión, pudiendo desarrollar la función principal del proyecto que es la de escanear.

En el futuro seguiremos trabajando para poder ver evolucionado hasta el final este proyecto.

# FOTOGRAFÍAS

12



Imagen 55



Imagen 56



Imagen 57



Imagen 58



Imagen 59



# BIBLIOGRAFÍA

13

## PÁGINAS WEB:

Programación Raspberry: <https://dephace.com/>

Programación Raspberry: <http://codigoelectronica.com/blog/cambiar-ip-raspberry-pi>

Programación Raspberry: <https://raspberrypi.org>

Descarga de software: <https://raspberrypi.org>

Funcionamiento de software: <https://arqueolinux.wordpress.com/>

## INFOGRAFÍAS:

<https://freepik.es>

## IMÁGENES:

Imagen 1: <https://www.directindustry.es/>

Imagen 2: <https://grupoabstract.com/>

Imagen 3: <http://www.studioimpresionarte.com/>

Imagen 4: <https://blog.render.st/>

Imagen 18: <https://www.arrow.com/>

Imagen 19: <https://es.farnell.com/>

Imagen 20: <https://es.farnell.com/>

Imagen 23: <https://www.barcelonaled.com/>

Imagen 24: <https://articulo.mercadolibre.com.mx/>

Imagen 25: <https://glitesa.com>

Imagen 51: <https://arqueolinux.wordpress.com/>

