

TÉCNICAS DE CAPTURA MASIVA DE DATOS COMO MÉTODO PARA LA PRESERVACIÓN DEL PATRIMONIO EDIFICADO

*A. Martín Garín¹, A. Casado Rezola², J. P. Otaduy Zubizarreta², F. Mora Martín¹,
José J. Pérez Martínez²*

¹ TICBE Research Group. Department of Architecture, Faculty of Engineering of Gipuzkoa, University of the Basque Country UPV/EHU, Donostia-San Sebastián, España

² TICBE Research Group. Department of Architecture, School of Architecture, University of the Basque Country UPV/EHU, Donostia-San Sebastián, España

RESUMEN

El estudio e intervención en edificios históricos supone un importante reto en el campo de la arquitectura debido a la complejidad constructiva y los valores histórico-artísticos intrínsecos de esta tipología edificatoria. Si bien las medidas de protección de estos edificios resultan cruciales para la salvaguarda y preservación del valor cultural, en ocasiones estas medidas no resultan suficientes. La falta de mantenimiento, el paso paulatino del tiempo o contingencias catastróficas hacen que los edificios corran peligro de derrumbe o desaparición.

La geometría compleja que caracteriza por lo general la arquitectura patrimonial hace inviable la captura de sus detalles a través de métodos convencionales de levantamiento. No obstante, el advenimiento de las tecnologías para la captura masiva de datos ha hecho posible la caracterización de esta tipología edificatoria con mayor facilidad. El Escaneo Láser Terrestre (TLS) o la fotogrametría basada en la técnica Structure from Motion (SFM) son las herramientas más extendidas en el sector AEC para la captura del entorno construido a través de la generación de nubes de puntos de gran exactitud. Además, con el objeto de aumentar la calidad y exactitud de los trabajos de levantamiento, las nubes de puntos pueden ser complementadas a través de la georreferenciación mediante receptores GNSS y/o puntos topográficos de apoyo.

El artículo aborda el análisis de las técnicas previamente descritas a partir de su aplicación en una serie de casos de estudio analizados por el grupo de investigación. Se presenta el flujo de trabajo llevado a cabo, así como el análisis de la idoneidad de aplicación de cada técnica según el tipo de escenario de trabajo. La investigación muestra la relevancia que tienen las técnicas de captura masiva de datos y cómo su aplicación sirve de gran apoyo para la salvaguarda del patrimonio edificado.

PALABRAS CLAVE: Patrimonio Edificado, Escaneo Láser Terrestre, Fotogrametría, Real Time Kinematic, Structure from Motion

1. INTRODUCCIÓN

El patrimonio arquitectónico de los municipios es una expresión de su historia, su cultura y su identidad. Refleja el legado de las generaciones pasadas, el testimonio de su forma de vida, sus valores y sus creencias. Sin embargo, muchos edificios patrimoniales están sufriendo un grave deterioro por el paso del tiempo, la falta de mantenimiento, las catástrofes naturales o los actos vandálicos. Estas pérdidas suponen un daño irreparable para la memoria colectiva y el legado cultural de la sociedad, que debe tomar conciencia de la importancia de conservar y restaurar su patrimonio arquitectónico [1].

La conservación y restauración de los edificios patrimoniales es una tarea compleja y delicada, que requiere de criterios técnicos, científicos y éticos. No se trata solo de reparar los daños físicos, sino también de respetar el valor histórico, artístico y simbólico de los monumentos.

Dentro de este ámbito, no deben de ser olvidados también aquellas edificaciones pertenecientes al patrimonio industrial que representan la evolución de la industria y la tecnología a lo largo del tiempo. La rehabilitación y conservación del patrimonio industrial no solo es importante para su preservación, sino que también puede ofrecer muchas posibilidades para su uso futuro. En este sentido, cada vez más se desarrollan investigaciones que focalizan los estudios en la arquitectura industrial del movimiento moderno [2]-[4]. Aunque pueda suponer un gran desafío, estos edificios pueden ser transformados para su uso como viviendas, oficinas, salas de exposición, museos, centros culturales, entre otros.

Por ello, es necesario contar con herramientas que permitan documentar, analizar y restaurar estos edificios de forma eficiente y precisa. Una de las herramientas más innovadoras y potentes para este fin son las nuevas tecnologías de Captura Masiva de Datos (MDC) a través de nubes de puntos, Figura 1. Una nube de puntos tridimensionales que representan la superficie de un objeto o escena. Estos puntos se obtienen mediante diferentes dispositivos que emiten y reciben señales de luz, como el escáner de triangulación láser, el escáner de luz estructurada, el láser escáner terrestre o la fotogrametría. Cada uno de estos métodos tiene sus ventajas y limitaciones, dependiendo de la escala, la complejidad y la accesibilidad del edificio a documentar [5], [6].

La captura digital de nubes de puntos permite obtener los modelos de edificios patrimoniales y captar con gran precisión su geometría, textura y color. Estos modelos pueden ser empleados posteriormente para múltiples usos, tales como la musealización virtual, disponer de un repositorio, realizar estudios estructurales o históricos, o utilizarlos para la propia salvaguarda por si ocurriese un desastre y fuera necesario la reconstrucción, tal y como sucedió con el incendio devastador de la catedral de Notre Dame de París en 2019.

Entre las tecnologías de captura de nubes de puntos Figura 1, las más utilizadas en el sector AEC son el láser escáner terrestre (TLS) y la fotogrametría. El láser escáner terrestre consiste en un dispositivo que gira sobre un eje y emite pulsos de luz láser que rebotan en los objetos y vuelven al sensor, midiendo así la distancia y el ángulo de cada punto. Este método permite obtener rápidamente nubes de puntos de alta densidad y precisión, pero requiere de un equipo costoso. La fotogrametría, por su parte, consiste en obtener nubes de puntos a partir de imágenes tomadas desde diferentes ángulos y posiciones, mediante algoritmos que calculan la posición y orientación de cada punto. Este método

permite obtener nubes de puntos de gran resolución y color, pero depende de la calidad y cantidad de las imágenes y de las condiciones de iluminación y visibilidad.

En definitiva, la implementación de las técnicas de MDC son una herramienta que pueden facilitar enormemente el trabajo de caracterización geométrica en el sector AEC. Sin embargo, dichas tecnologías no se encuentran ampliamente extendidas en el sector por lo que resulta fundamental su difusión para que puedan ser utilizadas por los profesionales.



Figura 1. Principales técnicas para la captura masiva de datos.

2. METODOLOGÍA

El objetivo principal de la comunicación es mostrar las principales técnicas de captura masiva de datos aplicables en el sector AEC. Resulta fundamental también conocer las ventajas y los flujos generales de trabajo para poder conocer la técnica que mejor puede adaptarse a cada trabajo específico. En este sentido, se ha optado por analizar distintos casos de estudio en los que se evidencian dichas ventajas, así como las dificultades que pueden encontrarse con la intención de encaminar a los futuros profesionales decantarse por una técnica u otra. Por su parte, la presente sección muestra el equipamiento y software empleado para el correcto desarrollo de la investigación.

2.1. Casos de estudio

2.1.1. Patrimonio edificado: Iglesia de San Vicente (Donostia-San Sebastián)

El primer caso de estudio se enfoca la iglesia de San Vicente, ubicada en Donostia-San Sebastián, Gipuzkoa (España). Es una construcción típica del gótico castellano de inicios del siglo XVI cuyas obras comenzaron en 1507. La construcción, terminada alrededor de 1548, tiene una planta rectangular de tres naves, cabecera octogonal, crucero alineado y otros tres tramos longitudinales, hasta el final de la iglesia, siendo la nave central más elevada que las laterales.

Al igual que en otros ejemplos parecidos, el edificio tiene una planimetría hecha con métodos tradicionales de levantamiento que no permiten obtener un levantamiento arquitectónico preciso, debido a la complejidad e irregularidad de la forma de los elementos de la arquitectura gótica. Por eso,

una planimetría de este tipo no suele ser suficiente para realizar investigaciones que necesitan una gran precisión geométrica. La complejidad arquitectónica que presenta esta tipología de iglesias constituye el principal motivo de escoger este caso de estudio como ejemplo de proceso de MDC para la caracterización geométrica en este tipo de escenarios.

2.1.2. Patrimonio industrial: Fábrica Laborde Hermanos (Andoain)

Dada la complejidad arquitectónica que su pone la arquitectura tardogótica se propone también analizar un segundo caso de estudio patrimonial pero concretamente del ámbito industrial. En este sentido, las formas generales que definen esta tipología edificatoria por lo general hacen que puedan ser capturadas mediante técnicas de MDC no tan complejas como el TLS. Es por ello que el objetivo de esta tipología de caso de estudio se plantea para la aplicación de la técnica de fotogrametría.

Para ello, se plantea analizar uno de los pabellones del complejo de la Fábrica Laborde Hermanos, diseñado por Manuel Laborde en 1928, siendo uno de los primeros ejemplos de la arquitectura racionalista en Euskadi, Figura 2. Fue una empresa líder en la producción de herramientas de corte. En análisis se centrará en el pabellón de comedores, volumen caracterizado por su marcada horizontalidad a través de los balcones y la disposición de sus ventanas de grandes dimensiones, la cubierta plana utilizada como terraza en la parte superior y por su escalera en espiral conocida como la “gran broca”.



Figura 2. Pabellón de comedores del complejo de la Fábrica Laborde Hermanos en Andoain (Gipuzkoa)

2.1.3. Asignatura Replanteos y Topografía en Arquitectura Técnica

Uno de los objetivos del equipo investigador, es la transferencia del conocimiento desarrollado en las actividades de investigación a los futuros profesionales del sector AEC. En este sentido, una de las formas es la implementación de los contenidos desarrollados en investigación es en el ámbito docente. Debido a ello se consideró oportuno la implementación de la técnica de fotogrametría en las prácticas docentes de la asignatura de Replanteos y Topografía del Grado en Arquitectura Técnica. El principal objetivo era el aprendizaje de la técnica SfM a través del desarrollo de levantamiento gráfico de fachadas aplicables en el patrimonio edificado del entorno. El principal motivo de seguir esta

metodología es por poder mostrar a los futuros profesionales alternativas asequibles económicamente para poder llevar a cabo levantamientos gráficos de cierta complejidad.

La práctica propuesta fue diseñada de manera que las dificultades que pueden generarse en este tipo de trabajos pudieran ser evitados y debido a ello se recomienda que la elección edificio caso de estudio sea convenientemente estudiada. Dada la complejidad de la técnica de fotogrametría y por ser la primera ocasión para trabajar con la técnica por los alumnos, se recomendó elegir un edificio de dimensiones reducidas y que sea accesible a todas sus fachadas para que se puedan obtener fotografías de calidad. De esta manera, el edificio seleccionado debería cumplir con los siguientes requisitos:

- Ser un edificio aislado y con distancia suficiente respecto a los edificios colindantes para poder obtener las fotografías desde todas las perspectivas posibles para agilizar el proceso de trabajo con el software de fotogrametría,
- El edificio a escoger debe de tener un nivel de complejidad arquitectónica en sus fachadas que favorezca el desarrollo de un levantamiento y delineación de fachada de alta calidad,
- El edificio no debe de superar los 10 metros de altura debido a que la captura de fotografías de zonas altas sin el empleo de otras tecnologías complementarias (RPAS, ...) resulta dificultoso y sin estas fotografías la calidad del modelo de nube de puntos no sería lo suficiente para el desarrollo de la práctica.

2.2. Equipamiento

2.2.1. Fotogrametría (SfM)

Este tipo de software permite la reconstrucción de modelos tridimensionales a partir de imágenes digitales, destacando por sus interfaces gráficas intuitivas, por seguir un flujo de trabajo claro y por sus múltiples opciones de importación-exportación. El flujo de trabajo general comienza con la importación de las imágenes capturadas, su alineación, la posterior generación de una nube de puntos dispersa en una primera fase y una posterior generación de una nube de puntos densa. La herramienta, a su vez, permite obtener el mallado y texturizado de los elementos generados.

En cuanto a las soluciones para el control de calidad de las nubes de puntos obtenidas, es posible incorporar Puntos de Control (GCP) y distancias de referencia que permitan el correcto escalado y ajuste del modelo. Dichos GCP puede ser agregados a partir de las imágenes utilizadas, de la propia nube de puntos u obtenidos mediante Métodos Topográficos y representados a través del sistema de referencia deseado.



Figura 3. Software (a), equipamiento láser escáner (b) y receptor GNSS (c) empleado durante la investigación.

En cuanto al software empleado, se ha hecho uso de dos de las opciones más conocidas en el mercado. Por un lado, en el ámbito educativo se ha hecho uso de 3DF Zephyr V 7.003 de la empresa 3DFLOW y, por otro lado, para el caso de estudio del edificio de Laborde se ha hecho uso del software Agisoft Metashape 2.1.0. El funcionamiento de ambos softwares es muy similar ya que siguen el flujo de trabajo previamente descrito.

2.2.2. Escaneado Láser

Se empleó el escáner láser Leica RTC360 de alta velocidad para el equipo TLS, que captura imágenes esféricas HDR. También tiene tecnología SLAM, que fusiona información del Sistema Visual Inercial (VIS), formado por cinco cámaras, con las mediciones inerciales de una IMU que determinan la posición relativa y orientación entre dos escaneos seguidos. El uso conjunto de estas tecnologías disminuye notablemente el tiempo de trabajo de campo. El equipo se caracteriza por la velocidad de escaneo de $2 \cdot 10^6$ puntos/segundo, una resolución de 6 mm a 10 m. y un alcance de hasta 130m. Su campo de visión es de 360° horizontal y 300° vertical, lo que necesita unos 2 minutos y medio para hacer cada escaneo de alta resolución, con la captura de imágenes de 360° incluida. La precisión angular es de $18''$ y la precisión de rango es de $1,0 \text{ mm} \pm 10 \text{ ppm}$. El software Cyclone Field, que es usado a través de una tableta digital o un teléfono inteligente, complementa el flujo de trabajo de captura de puntos, que permite enlazar y registrar los datos de escaneo durante el trabajo de campo. Por último, el registro de las nubes de puntos en el trabajo de oficina se hace mediante el software Leica Cyclone Register 360.

2.2.3. Geoposicionamiento GNSS

Para el geoposicionamiento de las nubes de puntos se ha hecho uso del receptor Leica GS18 T. Actualmente es uno de los modelos de receptores GNSS líderes en el mercado. Además, el equipo cuenta también con un sensor IMU con el que se consigue realizar mediciones con compensación de inclinación y obtener así mediciones más rápidas al no ser necesario su nivelación. El trabajo de campo se desarrolla mediante la tablet CS30 y el software Captivate que facilita la captura y posterior gestión

de información exportable en diversos formatos (.dxf, ASCII, .xml, etc). El procedimiento de trabajo ha sido a través del uso del Leica GS 18 T como rover y la red de estaciones base de Gipuzkoa. De esta manera, el equipo ofrece una exactitud de $\pm 8 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ ppm}$, $\pm 15 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ ppm}$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras la presentación de la metodología de investigación, el siguiente apartado muestra y examina los resultados logrados con las técnicas propuestas en los tres casos de estudio.

El primer análisis se centra en estudio de la Iglesia de San Vicente de Donostia-San Sebastián [7]. La Figura 04 presenta las nubes de puntos obtenidas mediante la técnica TLS a través de una perspectiva general de la fachada (Figura 04 a) así como de la sección longitudinal (Figura 04 c) de la nave principal y transversal (Figura 04 b) en la que se puede observar el retablo mayor de San Vicente.

El empleo de la técnica TLS ha permitido obtener una nube de puntos de gran precisión y rapidez en la que se puede observar cualquier detalle de la iglesia. El empleo de técnicas tradicionales hubiera requerido extensas jornadas de trabajo con el objetivo de alcanzar una caracterización geométrica exhaustiva del espacio y en la que no hubiera sido posible llegar al mismo grado de detalle. La técnica TLS se presenta como una herramienta de gran utilidad en aquellos casos de trabajo donde el rigor, la rapidez de ejecución del trabajo y se requiera un elevado grado de detalle. No obstante, la implementación de la técnica TLS no siempre es viable ya que requiere de unas inversiones importantes que no siempre son posibles de hacer frente. En este sentido, la técnica de fotogrametría SfM se presenta como una alternativa que ha sido implementada tanto para el segundo y tercer caso de estudio.

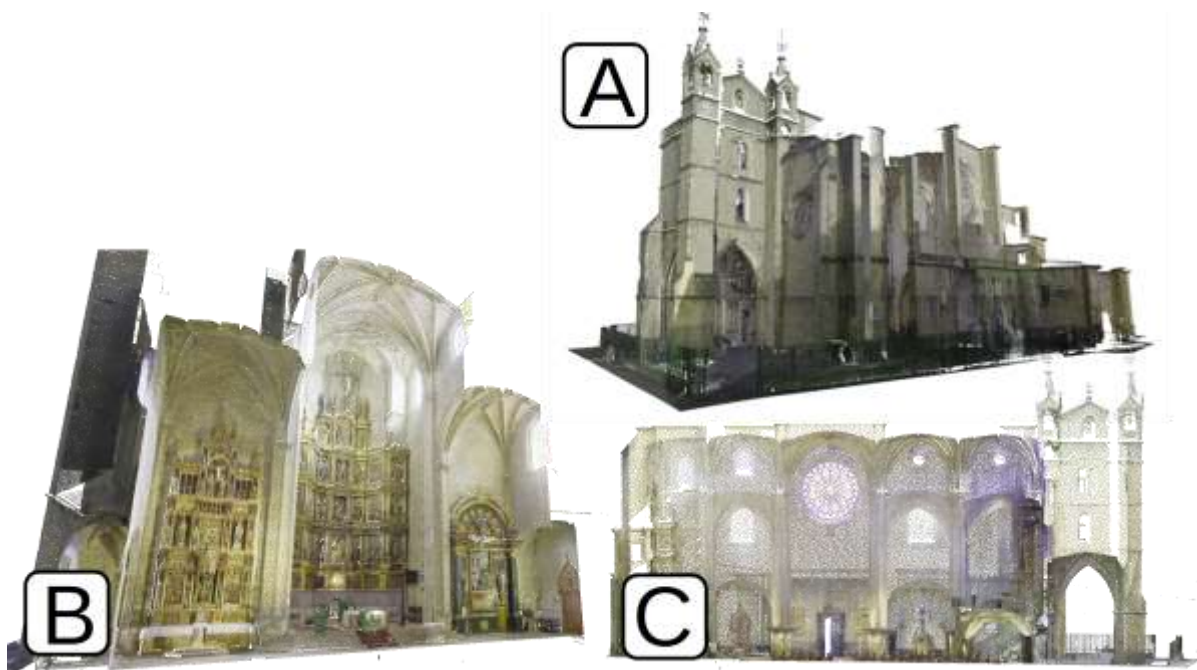


Figura 4. Nube de puntos obtenida mediante TLS de la Iglesia de San Vicente (Donostia-San Sebastián):
(a) perspectiva exterior, (b) sección transversal y (c) sección longitudinal

La Figura 5 muestra la nube de puntos obtenida de la fachada principal del pabellón de comedores de la fábrica. Como se puede observar la densidad de nube de puntos en la fachada no es comparable con la obtenida en el caso de estudio anterior. Sin embargo, cabe destacar que el principal motivo se debe a que las condiciones de espacio no resultaron las más idóneas dado el arbolado existente frente al caso de estudio. Como ejemplo, se puede analizar la diferencia de los resultados obtenidos respecto a la fachada trasera donde la densidad de puntos es mayor y por ende la calidad del resultado obtenido, Figura 6. Cabe destacar también la posibilidad de poder ubicar con mayor facilidad el equipo de la estación GNSS durante el estudio. Esto permitió la obtención de puntos para la georreferenciación del modelo de la nube de puntos para lograr un mayor control del modelo desarrollado.



Figura 5. Nube de puntos (a) y fotografía (b) de la fachada principal de la fábrica Laborde Hermanos (Andoain).



Figura 6. Nube de puntos detallada de la fachada trasera de la fábrica Laborde Hermanos (Andoain) junto con los puntos de control obtenidos mediante GNSS.

Como se ha podido observar, el empleo de la técnica SfM para la obtención de nubes de puntos conlleva ciertas dificultades que no siempre son posibles de evitar. En algunas de estas ocasiones, la captura de fotografías por ejemplo mediante un dron permite la obtención fotografías de puntos no accesibles como es el caso que se ha analizado previamente. Sin embargo, en ocasiones no será posible realizar vuelos para la captura de dichas fotografías. Teniendo en consideración estas limitaciones se

diseñó el tercer caso de estudio para que fuera implantado en la asignatura de Replanteos y Topografía. Como se ha indicado previamente, la práctica consistía en el levantamiento fotogramétrico de las fachadas de edificios con cierta complejidad arquitectónica.



Figura 7. Muestra de los ejercicios de levantamiento de fachadas basado en técnica de fotogrametría.

Resultó de gran relevancia poder acotar los casos de estudio a trabajar mediante los requisitos indicados a los alumnos previamente. Este aspecto permitió evitar las complejidades que podían darse durante la generación de las nubes de puntos tales como la falta de definición suficiente o la imposibilidad de capturar detalles gráficos en zonas elevadas tal y como se ha podido observar con el caso de estudio de la fábrica Laborde Hermanos. Los ejercicios fueron desarrollados a lo largo del curso 2022/2023 a través del software fotogramétrico 3DZephyr. La Figura 7 permite analizar algunos de los ejercicios desarrollados tales como las torres de Arbide o el caserío-lagar Katxola Berri. En general, la percepción por parte del alumnado fue positiva al descubrir una metodología que facilitaba el proceso de levantamiento de planos ya que les permitía obtener con gran detalle la geometría compleja de las fachadas a analizar.

4. CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio ha sido analizar desde una perspectiva general las técnicas de Captura Masiva de Datos (MDC) para la generación de nubes de puntos en el sector de la construcción. Para ello, se han analizado la técnica de Escáner Láser Terrestre (TLS) y de fotogrametría automatizada o procesamiento de imágenes SfM (Structure from Motion) a través de distintos casos de estudio.

La técnica TLS se ha mostrado como método de gran rapidez y exactitud en la obtención de la geometría de volúmenes complejos como ha sido el caso de la Iglesia de San Vicente. Sin embargo, se

presenta como una tecnología aún no muy extendida y conocida en el sector principalmente por los costes que suponen su implementación. El presente artículo ha mostrado como alternativa para proyectos de menor escala la posibilidad de utilizar la técnica de SfM. Aunque la rapidez no llegue a ser la misma que la obtenida mediante TLS, es posible la obtención de nubes de puntos de gran calidad sobre todo si se encuentran apoyadas mediante sistemas de georreferenciación a través de equipos GNSS. No obstante, cabe destacar que no siempre es posible disponer de las condiciones óptimas para la captura fotográfica. Las condiciones ambientales, elementos como la vegetación que puedan obstruir en la toma directa del elemento a fotografiar, la imposibilidad de poder fotografiar edificios de gran altura, entre otros, son algunos de los principales motivos que pueden repercutir en gran medida la calidad de las nubes de puntos obtenidas mediante fotogrametría. A pesar de ello, tanto SfM como TLS se presentan como técnicas de gran utilidad en el sector ya que permiten llevar a cabo trabajos de levantamientos de gran complejidad. Además, todo hace esperar que dichas técnicas sean cada vez más accesibles y por lo tanto se puedan ver un mayor número de trabajos basados en estas técnicas.

5. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

AEC	Architecture, Engineering and Construction
DSLR	Digital Single Lens Reflex
GCP	Ground Control Point
GNSS	Global Navigation Satellite System
IMU	Inertial Measurement Unit
MDC	Massive Data Capture
RTK	Real Time Kinematic
SfM	Structure from Motion
TLS	Terrestrial Laser Scanning

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a 3DFLOW especialmente a Federica Murana por la ayuda brindada mediante la contribución de la licencia 3DF Zephyr Education durante el año académico 2022/2023. La investigación desarrollada en el presente artículo se enmarca dentro del conjunto de actividades del Grupo de Investigación TICBE (*Technological Innovation and Creativity for the Built Environment*), reconocido por la “Convocatoria de ayudas a Grupos de Investigación de la UPV/EHU (2022)” con código GIU22/001.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Azkarate, M. J. Ruiz De Ael and A. Santana, "El patrimonio arquitectónico," *Plan Vasco De Cultura. Servicio De Publicaciones Del Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz, Spain*, 2003.
- [2] M. Sagarna Aranburu, "Gipuzkoako Arkitekturaren Eboluzioaren Azterketa Hormigoi Armatuaren Garapenari Lotut. Estudio De La Evolución De La Arquitectura De Guipúzcoa Ligada Al Desarrollo Del Hormigón.", Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea, 2010. Disponible en: http://www.euskara.euskadi.net/appcont/tesisDoctoral/PDFak/Maialen_Sagarna_TESI.pdf
- [3] E. Collantes Gabella, "Permanencias Transformadas: Arquitectura Industrial Del Movimiento Moderno En Gipuzkoa (1928-1959).", Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea, 2015. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10810/15990>
- [4] M. Senderos Laka, I. León Cascante and J. J. Pérez Martínez, "Levantamiento gráfico de patrimonio industrial en actividad: Nueva Cerámica de Orío," *EGA Expr. Gráf. Arquít.*, vol. 24, (36), pp. 92-105, 2019. Available: <https://polipapers.upv.es/index.php/EGA/article/view/11536>. DOI: <https://doi.org/10.4995/ega.2019.11536>.
- [5] P. Rodríguez Navarro, "La fotogrametría digital automatizada frente a los sistemas basados en sensores 3D activos," *EGA Expr. Gráf. Arquít.*, vol. 17, (20), pp. 100-111, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4995/ega.2012.1408>.
- [6] G. Boto-Varela *et al*, "Building archeology: Laser meter," *Perspective (France)*, (2), pp. 329-346, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4000/perspective.249>.
- [7] J. J. Pérez-Martínez *et al*, "Architectural survey of the built heritage using the technique of laser scanning and photogrammetry. comparison of results in the case study of the gothic vault: Church of San Vicente in Donostia-San Sebastián." in *Diagnosis of Heritage Buildings by Non-Destructive Techniques.*, B. Tejedor-Herrán and D. Bienvenido-Huertas, Eds. Elsevier. Woodhead Publishing., 2024, ISBN: 9780443160011.