

IMPRESIÓN 3D Y REALIDAD AUMENTADA APLICADOS EN EL ANÁLISIS DE ARQUITECTURA

TUTORAS: NOELIA GALVÁN DESVAUX - MARTA ALONSO RODRÍGUEZ

AUTOR: ÁLVARO MARTÍN GONZÁLEZ

SEPTIEMBRE 2017



Universidad de Valladolid

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA
"GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA"

TRABAJO FIN DE GRADO

IMPRESIÓN 3D Y REALIDAD AUMENTADA APLICADOS EN EL ANÁLISIS DE ARQUITECTURA

AUTOR

ÁLVARO MARTÍN GONZÁLEZ

TUTOR

NOELIA GALVÁN DESVAUX
MARTA ALONSO RODRÍGUEZ

septiembre 2017



ABSTRACT

La impresión 3d y la Realidad Aumentada son tecnologías en desarrollo que han permitido grandes avances en muchos ámbitos de nuestra sociedad. En este trabajo se busca estudiar estas tecnologías en detalle y los aportes que han realizado a otras disciplinas pero sobre todo al mundo de la arquitectura. También estudiamos las bases del Análisis de la arquitectura buscando los puntos clave en los cuales poder introducir estas tecnologías para culminar en un caso práctico en el que tratamos la casa Morris de Louis I Kahn y aplicamos a ese análisis el uso de la impresión 3D y de la Realidad Aumentada. Buscamos un desarrollo del Análisis de Formas y un acercamiento de la arquitectura de una manera muy visual al público no profesional.

Palabras clave: *Impresión 3D, Realidad Aumentada, Análisis, Arquitectura, Kahn.*

3d printing and Augmented Reality are developing technologies that have made great strides in many areas of our society. In this paper, the aim is to study these technologies in detail and the contributions they have made to other disciplines, but especially to the world of architecture. We also study the bases of the Architecture Analysis looking for the key points in which we can introduce these technologies to culminate in a practical case in which we use the house Morris of Louis I Kahn and we apply to that analysis the use of the 3D impression and of the Augmented Reality. We are looking for a development of the Analysis of Forms and an approach of the architecture in a very visual way to the non-professional public.

Keywords: *3D printing, Augmented Reality, Analysis, Architecture, Kahn.*



1- INTRODUCCIÓN

- 1.1- ESTADO DE LA CUESTIÓN
- 1.2- METODOLOGÍA DE TRABAJO
- 1.3- OBJETIVOS

2- IMPRESIÓN 3D

- 2.1- TIPOS DE IMPRESIÓN 3D
- 2.2- VENTAJAS DE LA IMPRESIÓN 3D
- 2.3- INCONVENIENTES DE LA IMPRESIÓN 3D
- 2.4- IMPRESIÓN 3D EN ARQUITECTURA
 - 2.4.1- IMPRESIÓN DE MAQUETAS
 - 2.4.2- IMPRESIÓN DE EDIFICIOS DE PEQUEÑO FORMATO A ESCALA REAL
 - 2.4.3- VENTAJAS DE LA IMPRESIÓN 3D EN MAQUETA
- 2.5- OTROS CAMPOS DE LA IMPRESIÓN 3D

3- REALIDAD AUMENTADA

- 3.1- INTRODUCCIÓN
- 3.2- CÓDIGOS QR Y MARCADORES
- 3.3- R.A. EN ARQUITECTURA
- 3.4- R.A. EN ENSEÑANZA
- 3.5- R.A. EN MUSEOS Y EXPOSICIONES
 - 3.5.1- LA CIUDAD COMO MUSEO
- 3.6- R.A. EN LIBROS INTERACTIVOS
 - 3.6.1- LIBROS EDUCATIVOS Y DE ENTRETENIMIENTO
 - 3.6.2- LIBROS DE ARQUITECTURA



4- MAQUETA Y ANÁLISIS

- 4.1- BASES PARA EL ANÁLISIS DE ARQUITECTURA
- 4.2- IMPRESIÓN 3D Y MAQUETA
- 4.3- PEQUEÑAS MAQUETAS PARA EL ANÁLISIS DE ARQUITECTURA

5- CASO PRÁCTICO

- 5.1- PRESENTACIÓN
- 5.2- LA IMPRESORA 3D
- 5.3- PROCESO DE MODELADO A IMPRESIÓN 3D
- 5.4- REALIDAD AUMENTADA
 - 5.4.1- SELECCIÓN DEL PROGRAMA
 - 5.4.2- AUMENTATY AUTHOR (FUNCIONAMIENTO)
- 5.5- ANÁLISIS CASA MORRIS
 - 5.5.1- Forma
 - 5.5.2- Envolvente
 - 5.5.3- Función
 - 5.5.4- Circulación
 - 5.5.5- Estructura
 - 5.5.6- Emplazamiento
- 5.6- APLICACIÓN PRÁCTICA DEL ANÁLISIS AL MODELO

6- CONCLUSIONES

7- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8- BIBLIOGRAFÍA



I - INTRODUCCIÓN



El objeto principal de este trabajo será la investigación y experimentación en las nuevas tecnologías de la impresión 3d y la Realidad Aumentada con el fin de sacarles partido y ponerlas al servicio de la arquitectura, y más concretamente del Análisis de formas de la arquitectura.

Buscaremos el modo de dar un nuevo enfoque desde este apartado más tecnológico al análisis de la arquitectura no construida de Louis Kahn, centrándonos en una de sus obras, la casa Morris. Navegaremos en los entresijos del complejo mundo de la impresión 3d y experimentaremos de primera mano como es su uso y mantenimiento, detectando los posibles problemas que nos podemos encontrar al trabajar con este tipo de impresoras. Además investigaremos el mundo de la realidad aumentada y todo lo que nos ofrece a nivel usuario hoy en día y como podemos poner esas cualidades a trabajar en favor de la arquitectura y en consonancia con modelos y maquetas extraídas de la impresión 3d. Acudiremos a los estándares arquitectónicos del Análisis de formas y comprobaremos lo que esas nuevas tecnologías pueden aportar y ayudar haciendo esas categorías analíticas más accesibles, visuales e interesantes al conseguir sacarlas del papel.

En resumen se buscará jugar con esos 3 ámbitos a priori tan diversos y marcados para encontrar un punto de reunión y obtener un rendimiento sobre el que se pueda centrar en un futuro un trabajo más específico y más tecnológico del mismo modo que el software supuso un salto respecto al dibujo manual a tinta con el que se trabajaba años atrás. Los tiempos avanzan y se busca ese próximo paso que desarrolle nuestra profesión y las herramientas con las que lo desempeñaremos.



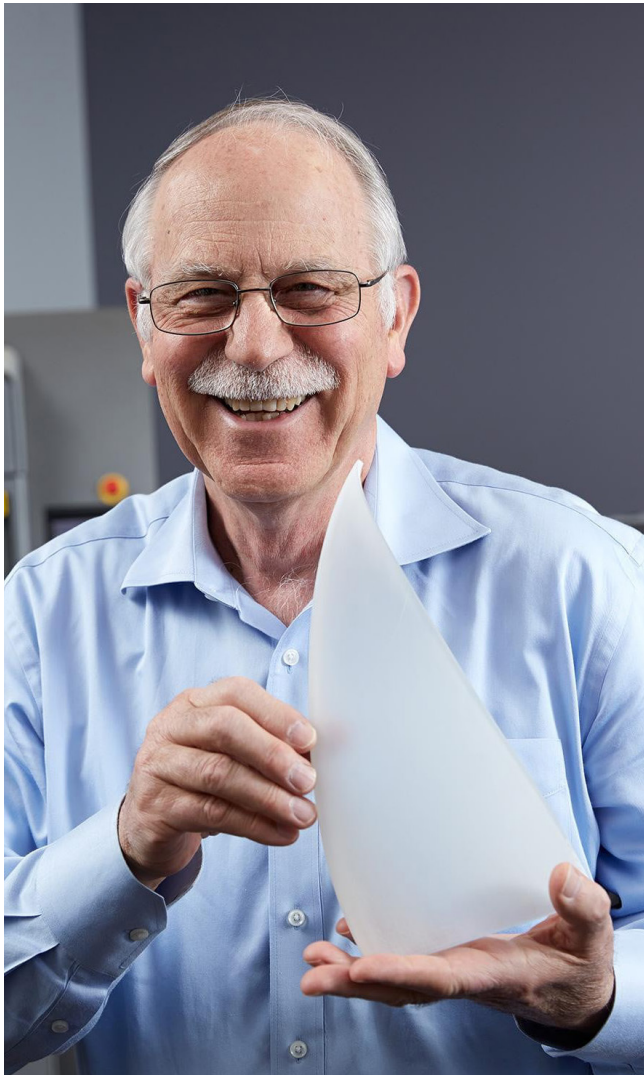
I.1 - METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología que hemos seguido para desarrollar nuestro trabajo y conseguir unos objetivos en relación a los temas de estudio ha sido la siguiente:

- En primer lugar hemos estudiado el estado actual y las posibilidades que ofrece el mundo de la impresión 3d, todos los sistemas de impresión, ventajas, aplicaciones y en definitiva todo lo que puede aportar en el ámbito de estudio del trabajo en relación al análisis de la arquitectura
- En segundo lugar hemos tratado el estado de la Realidad Aumentada y sus distintos ámbitos de aplicación en la actualidad, así como la influencia que está teniendo hoy en día en el mundo de la arquitectura, su análisis y su posterior puesta en valor de cara a posibles muestras o exposiciones relacionadas.
- Hemos indagado acerca del tema del análisis en la arquitectura y más concretamente en relación con las maquetas y la impresión 3d.
- Tomando la casa Morris de Louis I. Kahn como objeto de estudio, la hemos analizado y utilizado como base de trabajo en nuestro caso práctico. Buscando de este modo poner en relación el análisis de esta arquitectura, la impresión 3d y el uso de la Realidad aumentada.
- Por último hemos trabajado sobre el modelado tridimensional apoyándonos en la impresora 3d, a partir de un modelo del terreno sobre el que se asienta la casa. Este modelo nos servirá posteriormente como base de trabajo a la que asociaremos una serie de marcadores que nos permitan apreciar la casa y un conjunto de información asociada a la misma.



1.2 - ESTADO DE LA CUESTIÓN



Charles Hull, precursor de la actual tecnología 3d y creador y fundador de 3D Systems

En el ámbito de la impresión 3d podemos decir que nos encontramos en un punto de desarrollo constante. Los orígenes de este sistema de creación de objetos se sitúan en el año 1984, cuando Charles Hull, que dedicaba su tiempo a reproducir moldes cada vez que quería crear un objeto o un prototipo, buscó un modo de poder evitar ese paso intermedio del molde como expone Hickey (2014). De este modo estudió el modo de poder crear capa a capa directamente el objeto deseado. Así nació el método de la estereolitografía (SLA), génesis de todo el universo de impresión 3d que conocemos en la actualidad.

Al igual que cualquier otra tecnología o ámbito, éste ha experimentado un gran desarrollo en el tiempo. Nació con un uso industrial, como una manera de ahorrar procesos y de abaratar costes en una cadena de producción y crear prototipos que posteriormente se realizarían en otros materiales. Con el tiempo esta tecnología fue evolucionando y se amplió el espectro de técnicas y de materiales. Hemos ido viendo que algo que hace apenas unos años nos parecía poco menos que ciencia ficción, hoy por hoy está mucho más al alcance de lo que la mayoría de la gente piensa.

Se puede decir que el coste de producción de una impresora 3d se ha reducido drásticamente, saltando la barrera de precios solo asumibles por empresas que rentabilizan sobradamente su uso, para poder llegar incluso a los hogares, eso si, con un precio aún elevado. Cabe alguna excepción como el proyecto "RepRap"¹, que permite un coste menor de producción de estas máquinas de creación de modelos, haciéndolas de este modo accesibles a nivel hogar como se explica en el artículo de Bejerano (2013).

Esta accesibilidad actual, respecto a las impresoras 3d, no implica que su uso esté altamente expandido. Los procesos de creación 3d y los software de impresión están todavía al alcance solamente de usuarios con unos conocimientos en diseño 3d e impresión demasiado técnicos para el común de los potenciales usuarios. Por lo tanto

1 Proyecto "Reprap": Es un proyecto de impresoras de código abierto (sin marca registrada), que se gestionan de manera libre y que se pueden autoimprimir y se pueden ir mejorando mediante nuevas piezas impresas por la propia impresora.



podría decirse que existe un nicho de mercado dentro de este área semi-industrial de la creación de prototipos y objetos físicos.

Si nos planteamos el uso actual que se realiza de esta tecnología, podemos observar que la experimentación es el patrón predominante, utilizándose en campos tan variados como el prototipado industrial, el diseño, la arquitectura, la medicina y hasta la alta cocina. Por lo que las posibilidades que nos ofrece son muy amplias.

Por otro lado, en el ámbito de la realidad aumentada, se podría decir que ha existido un avance y un desarrollo enormes en los últimos años. Sus aplicaciones son numerosas y algunas aún por descubrir. Hoy por hoy son una herramienta más en campos como la animación, la información, museos, educación y pedagogía, marketing, etc.

Y por supuesto en el campo que nos atañe, la arquitectura, ya que la utilización de realidad aumentada para representar y mostrar las edificaciones en el ámbito del marketing y de la promoción inmobiliaria está experimentando un fuerte avance. Un ejemplo claro es el uso de la visión 3d con el fin de mostrar al espectador una imagen interna de un espacio prediseñado. Otro ejemplo es el empleo de aplicaciones para restituir en un entorno urbano la implantación de un objeto arquitectónico aún sin construir. De este modo hacemos accesible al usuario la percepción de conceptos que un sistema de representación en 2d como son los planos o incluso las propias imágenes simuladas, no permite captar.

Todo esto nos llevará al empeño de ligar las posibilidades que nos ofrece, tanto la impresión 3d como la realidad aumentada, intentando casarlas y ponerlas al servicio del análisis de la arquitectura. Buscamos en un caso práctico desarrollar un trabajo experimental que nos permita encontrar nuevas fórmulas para la modernización de la explicación y el análisis de la arquitectura, haciéndola llegar de manera más simple y visual a la mayor cantidad de público posible.



Vídeo explicativo de Charles Hull y su creación del proceso de estereolitografía con fragmentos de declaraciones realizadas por él mismo



Esquema de "3DALIA" con tipos de posibilidades dentro de la impresión 3d en los distintos campos de su desarrollo



1.3 - OBJETIVOS

El trabajo se desarrollará en la búsqueda de las aplicaciones y la interacción entre el uso de la impresión 3d y de la realidad aumentada enfocados en el ámbito de la arquitectura y más concretamente en el uso analítico que estos sistemas nos pueden ofrecer. Utilizaremos la impresora 3d como base de trabajo para conseguir un modelo a escala del terreno sobre el que descansaría la casa Morris a modo de maqueta, la cual servirá de punto de partida para los objetivos que nos marcamos.

Por otra parte se experimentará con distintos software que el mercado ofrece en el ámbito de la realidad aumentada, en búsqueda de alguno que nos permita hacer interactuar la parte física de una maqueta impresa en 3d y la parte virtual de un modelo 3d o sus pertinentes análisis. Con esto se pretende conseguir una mayor interacción y atracción entre el objeto y el espectador, intentando ampliar el espectro de público que pueda comprender conceptos que con las técnicas convencionales se encontraban restringidos a personas que supieran interpretar la información en 2d.

Se buscará alcanzar los siguientes objetivos con un caso práctico en el cual, como ya hemos comentado, se utilizará como base la casa Morris de Louis Khan marcando unas pautas de trabajo:

- Realizar una impresión 3d física del terreno sobre el cual descansa el edificio y posteriormente mediante marcadores conseguir el efecto de la implantación del modelo 3d de la casa sobre el modelo físico del terreno.
- Mediante ese modelo físico del terreno ya impreso, situar una serie de marcadores, cada uno con un código distinto, buscando el efecto de la percepción del modelo físico y que cuando nos situemos sobre cada marcador nos remita a una información distinta, ya sean análisis, gráficos o esquemas referidos al edificio y trabajados y extraídos del análisis previo de la vivienda no construida de Louis I. Kahn.
- Establecer un sistema de trabajo enfocado al análisis que sea extrapolable a cualquier edificio de estudio.



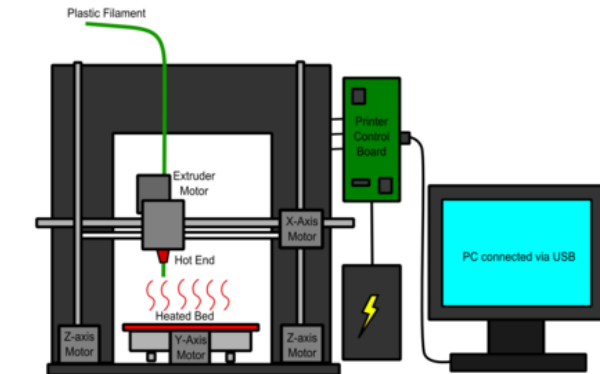
2 - IMPRESIÓN 3D



2.1 - TIPOS DE IMPRESIÓN 3D

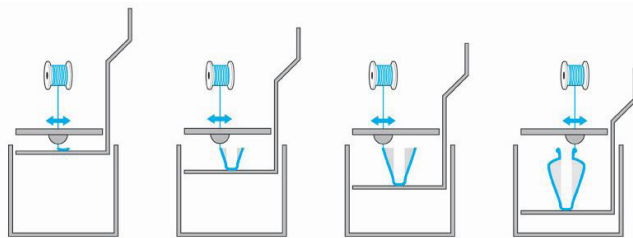
En cuanto a la impresión 3d se refiere, existen distintos métodos de creación de estos modelos en función de la tecnología que queramos utilizar para conseguir nuestro objeto volumétrico. Además, dentro de cada método tendremos diversos materiales y procesos que variarán en función de la finalidad que tenga el producto que vayamos a generar, ya que no es lo mismo ejecutar una pieza resistente indicada para un proceso industrial, que un pequeño prototipo de maqueta con fines de marketing.

Todo el trabajo que desarrolla la impresión 3d se rige por tecnologías aditivas. Consisten en la superposición del material en distintas capas hasta conseguir el objeto deseado. La calidad de la impresión dependerá en gran medida de la cantidad de láminas en las cuales cortemos el objeto, cuantas más láminas con un menor grosor, mayor precisión en la forma. Dentro de la impresión 3d por adicción podemos encontrar los siguientes sistemas como se detalla en el artículo de Artigas (2016):



Esquema del funcionamiento de una impresora 3d con tecnología aditiva

- **FDM:** Es el sistema por antonomasia, el cual será nuestro banco de pruebas en el caso práctico que llevaremos a cabo. Consiste en la superposición de capas de materiales plásticos fundidos a altas temperaturas que van siendo depositados hasta conformar la pieza final. La impresora toma el filamento de material plástico y lo hace atravesar un extrusor a temperatura suficiente como para fundir el plástico, que va siendo depositado milimétricamente en el punto necesario para conformar cada capa de la pieza final. En algunos casos la base de la impresora es la que va descendiendo a medida que se van completando las capas y en otras ocasiones es al contrario, la base se mantiene y el extrusor se va elevando a medida que completa capas.
- **DMLS:** Es una tecnología de sinterizado directo de metales por láser. Utiliza aleaciones de metal y polvo para conformar piezas resistentes mediante un láser de alta potencia. Es muy útil para crear piezas resistentes directamente utilizables como herramientas o pequeñas piezas estructurales.
- **SLA:** Es el sistema de impresión por estereolitografía. En esencia el funciona-



Esquema de funcionamiento de impresora 3d en la que la base va descendiendo para ir creando las capas de material

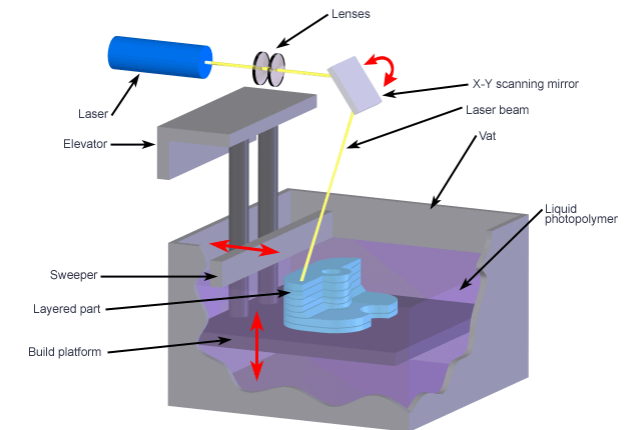


miento de este método de impresión se basa en el uso de una resina fotosensible como material básico del proceso. Esta resina se activa mediante una luz láser ultravioleta que la hace reaccionar y endurecer. Funciona por capas al igual que el FDM, una vez finalizada una capa, la base baja y la resina vuelve a cubrir la capa ya endurecida para que se ejecute la siguiente capa, de modo que capa a capa se conforme el objeto. Es un sistema muy preciso, pero al mismo tiempo conlleva un cierto desperdicio de material.

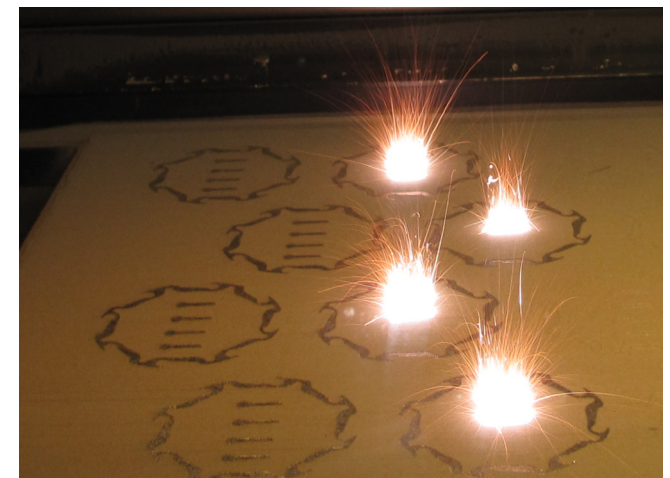
- **SLS:** Es una tecnología similar a la SLA, solo que el sistema de compactación del material, es el fundido por láser, permitiendo el uso de una gama de materiales muy variado y no solo resinas fotosensibles. El láser funde y compacta los materiales escogidos, sean estos vidrio, cerámica, polvo, nylon...

Todas estas tecnologías anteriormente descritas, nos abren un abanico de posibilidades muy amplio para conformar piezas complejas y nacen en oposición frontal al método de trabajo tradicional. El método de trabajo tradicional consistía en la creación de piezas por sustracción, es decir, partiendo de un bloque de material de un tamaño determinado, este va siendo "tallado" hasta conseguir la forma deseada con los orificios deseados. En tiempos más cercanos, ese método fue complementado con el sistema de moldes, en el cual la complejidad residía en generar el negativo de la pieza para crear el molde y que posteriormente la generación de la pieza de manera seriada fuese más sencilla.

Sin duda la impresión 3d ha supuesto, por un lado, un complemento a los sistemas de fabricación habituales y por otro, una sustitución de los mismos por una serie de ventajas que descubriremos posteriormente y que han ayudado a que hoy por hoy la impresión 3d se encuentre en un fortísimo desarrollo tecnológico con importantes empresas en constante desarrollo.



Esquema de funcionamiento de las impresoras SLA y de como la pieza va emergiendo de la resina

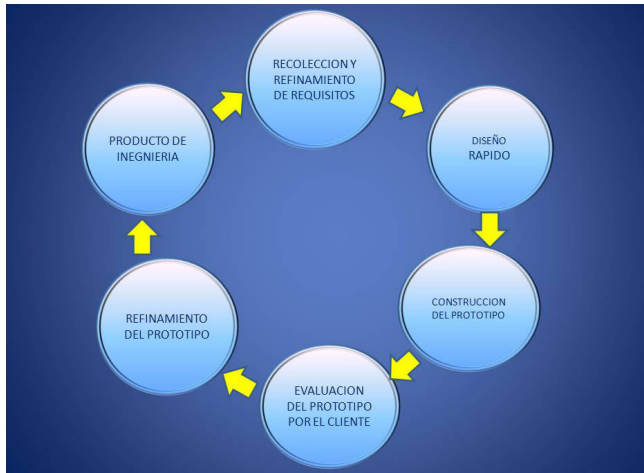


Proceso de impresión 3d mediante sinterizado directo de metales por láser en pleno proceso de trabajo

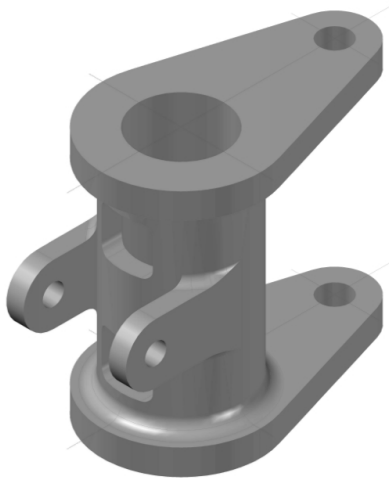


2.2 - VENTAJAS DE LA IMPRESIÓN 3D

Las ventajas que nos plantea la impresión 3d frente a los métodos de fabricación tradicionales son amplias y sustanciales, permitiendo un desarrollo potente de la industria y también de la manufactura a pequeña escala como refleja Vazhnov (2013). Estas ventajas son:



Esquema del sistema de trabajo con prototipos y sus distintos pasos para la generación del modelo definitivo



Ejemplo de pieza compleja que por métodos tradicionales requiere de varios procesos de conformación y fresado y con impresión 3d se generaría en un solo proceso

- **Reducción de tiempo en prototipado:** es una ventaja considerable respecto a los sistemas tradicionales. Mediante impresión 3d podemos obtener “borradores” rápidos de las piezas que deseamos obtener a modo de prueba para ir observando físicamente el desarrollo que sufre la pieza que estamos generando de manera virtual. Este proceso aparentemente tan sencillo, mediante los sistemas tradicionales, suponía una gran pérdida de tiempo, ya que cualquier modificación en la pieza base requería de un patrón de tallado distinto, unos orificios distintos o de la generación de un nuevo molde por ejemplo.
- **La complejidad no aumenta el coste:** es uno de los conceptos más importantes para entender la gran revolución que supone la impresión 3d. Partamos de la idea de un cubo. Realizar un cubo por fresado es aparentemente sencillo y supone un coste “X”; si a este cubo le añadimos un orificio que lo atraviesa por completo, el coste de la pieza será de “X” por el fresado inicial al cual hay que sumarle el coste “Z” de realizar el taladro posterior. En total la pieza tendría un coste de “X + Z” porque requiere de dos procesos de modelado suplementarios. Pues bien, esto con la impresión 3d desaparece por completo, podemos generar la pieza más compleja que tenga cabida en nuestra imaginación dentro de ese cubo, que ello no generará un sobre-coste. Generar una pieza dentro de ese cubo siempre costará exactamente lo mismo, la cantidad de material que el proceso requiera y el usufructo de la impresora. Incluso podríamos considerar que la pieza resulta aún más barata cuando tiene una serie de orificios, ya que son zonas donde se ahorra material. Esto por ejemplo lo vemos muy claramente en la confección de maquetas de trabajo. Si mandamos cortar planchas con muchas piezas para confeccionar una maqueta por corte laser, cuantos mas recovecos tengan las piezas, mayor es el coste del corte. En una impresora 3d ese problema no existe.



- **Ahorro de material:** como ya expusimos en el punto anterior, cualquier hendidura o espacio vacío dentro de la pieza va a suponer un ahorro de material respecto a los sistemas tradicionales, ya que en estos, era necesario el uso de material base de dimensiones superiores a la pieza a obtener de los cuales se sustraían esos espacios vacíos.
- **Facilidad en la creación de moldes:** Esta es una ventaja sustancial en el proceso industrial, ya que en muchas ocasiones, más que la creación pieza a pieza, el proceso más costoso es la realización del molde para vertido de material fundente. Basándonos en las mejoras anteriores, podemos deducir que el tiempo de creación de estos moldes base y su calidad y coste, se ajustan mucho mejor a las necesidades de la cadena productiva.
- **Reducción de los tiempos y los costes de modificación del producto:** En relación con los puntos anteriores, con las tecnologías industriales preexistentes, la modificación de un producto en una cadena de montaje era elevado, ya que una mínima modificación trastocaba la producción y el coste de las modificaciones se veía reflejado en los procesos. Del mismo modo en la creación de maquetas arquitectónicas cualquier error podía significar comenzar de nuevo todo el proceso. Sin embargo con la impresión 3d, cualquier alteración en la pieza a generar, solo afecta en la modificación virtual de la pieza, reduciendo el impacto en la cadena de manera notable ya que solo será necesario volver a imprimir la pieza o maqueta.
- **Alto grado de personalización:** La impresión 3d ofrece posibilidades infinitas en la modificación de un objeto común, haciendo que de cada objeto podamos tener versiones casi ilimitadas, lo mas adaptadas posible a nuestros gustos y necesidades, cosa que con los métodos tradicionales se pagaba a un coste muy alto. Todo lo que se saliese de una cadena de producción seriada suponía un coste extra. Sin embargo en la impresión 3d, cualquier diseño tiene cabida y podemos realizar diversas maquetas de un mismo proyecto.



Ejemplo de molde constituido por impresión 3d para simplificar el proceso de creación de la pieza



Inexistencia de inventarios



Disponibilidad global y a largo plazo

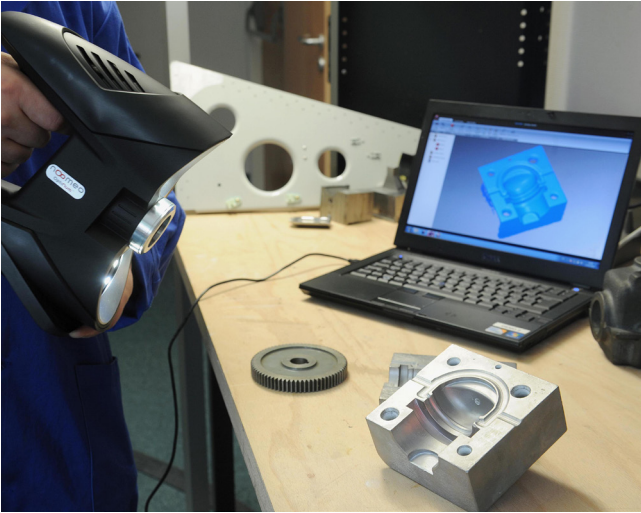


Coste cero de transporte



Entrega inmediata

Esquema explicativo de los beneficios a nivel de multinacional de los avances en impresión 3d



Escáner 3d que permite la virtualización de cualquier pieza y permite la generación de repuestos con impresión 3d



Dispersión geográfica mundial en mini centros de trabajo

- **Facilidad para generar repuestos y piezas de uso cotidiano:** Esta es una ventaja fundamental que nos puede ofrecer la impresión 3d cuando estos dispositivos se encuentren totalmente inmersos en nuestros hogares. Hoy en día, cualquier objeto que podamos manipular en casa, tiene una obsolescencia programada, es decir, están diseñados con una vida útil determinada en la cual alguna de las piezas que lo componen probablemente acabe rompiéndose. Pero si tenemos la posibilidad de replicar esa misma pieza con el único coste del material que gastemos, volveremos a aquel punto de la economía en el cual, reparar un objeto era más económico que adquirir uno nuevo. De este modo mediante la ayuda de un escáner 3d, podemos tomar el modelo de la pieza que necesitamos sustituir e imprimir una copia idéntica que nos permita aportar esa durabilidad extra al objeto que estemos reparando alargando su vida útil y evitando la necesidad de adquirir uno nuevo con su consiguiente impacto ecológico. Del mismo modo si queremos complementar o sustituir alguna parte de una maqueta que hayamos impreso en 3d, podemos adaptar el diseño a las necesidades con las que contemos y tomar esa pieza para modificar el modelo original.
- **Generación de nuevos nichos de trabajo:** Se generan nuevos campos de trabajo, como diseñadores de objetos 3d, técnicos de mantenimiento de impresoras 3d, posibles centros de impresión a una escala mayor a la doméstica... Todo esto creará pequeños puestos de trabajo a escala mundial geográficamente muy distantes en lugar de núcleos grandes de trabajo en fábricas y similares. En ese sentido la posible pérdida de trabajos en unos sectores se compensará en el sector de la impresión 3d si tiene el desarrollo esperado. Del mismo modo en el ámbito de la arquitectura cada vez será más común que cada estudio cuente con su impresora 3d y se necesite arquitectos especializados en su uso para poder expresar al máximo las ventajas que le confiere al proceso proyectual.

2.3 INCONVENIENTES DE LA IMPRESIÓN 3D



Pese a todo, lo que nos ofrece la impresión 3d no son todo ventajas, hay ciertos inconvenientes que también expone Vazhnov (2013) y que conviene tener en cuenta:

- **Derechos de autor:** Gran parte del mercado en el que nos manejamos, tiene una base muy grande instaurada en los derechos de autenticidad de los objetos. Una marca o empresa crea un determinado producto y lo registra, para evitar copias a un coste más competitivo y permitir que el “creador” reciba un canon por el usufructo de su idea. Pues bien, con la irrupción de los sistemas de impresión 3d este concepto ha entrado en crisis debido a que el control sobre las copias de un producto es extremadamente difícil ya que mediante un escáner 3d, podremos realizar una réplica con total exactitud, cosa que sucede hoy por hoy en el mundo de la música, donde la copia de un archivo mp3 a partir de un original, tiene exactamente la misma calidad. Estaríamos hablando de una especie de piratería sobre objetos físicos.
- **Posibilidad de crear objetos peligrosos:** La libertad que aporta la creación de todo tipo de objetos, también hace que con sencillos patrones sacados de Internet se puedan ejecutar objetos tales como armas de fuego u otros objetos peligrosos a los que normalmente un usuario no tiene acceso.
- **Reducción de puestos de trabajo:** la individualización de los procesos de creación de objetos que puede suponer la impresión 3d doméstica, afectaría a las grandes cadenas de montaje, que verían reducida su necesidad de producción y por tanto repercutiría en el puesto de trabajo de muchos operarios.
- **Reducción en el transporte internacional:** Esta industria basa una gran parte de su negocio en la movilidad de piezas componentes de productos tecnológicos que por el coste inferior de la mano de obra se sitúan en puntos muy dispares de la geografía internacional. Este fenómeno se vería eliminado, ya que la producción de esas piezas ya no requeriría de operarios, sino de una simple máquina, un envío por mail del objeto deseado que se podrá imprimir en cualquier punto del planeta con la única necesidad final de ser ensamblado.



Esquema de la propiedad intelectual y los derechos de autor



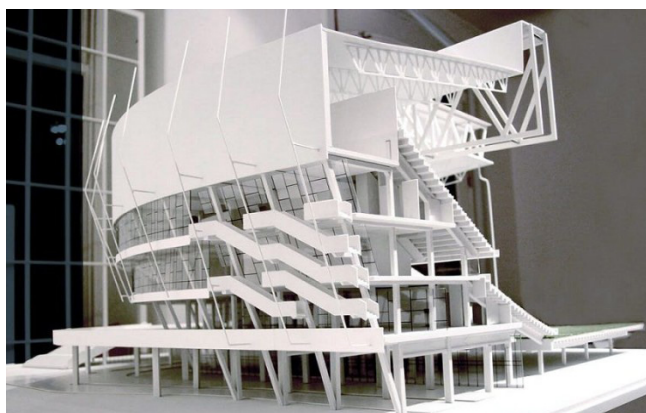
Arma de fuego generada mediante impresión 3d [http://www.lanacion.com.ar/1579449-crean-la-primera-arma-de-fuego-con-una-impresora-3d]



2.4 - IMPRESIÓN 3D EN LA ARQUITECTURA



Maqueta de trabajo con los interiores de una vivienda y sus muebles también impresos en 3d para configurar la disposición interior de ese mobiliario



Maqueta arquitectónica de detalle elaborada mediante impresión 3d con material ABS

La impresión 3d en la arquitectura es el ámbito que más nos interesa en el estudio de este trabajo. Se desarrolla principalmente en dos vertientes que son, por un lado, la concerniente a la impresión de maquetas físicas y por otro lado la impresión de edificios de pequeño formato. En ese sentido es clave la definición de la escala, que en el ámbito de las maquetas es pequeña y mediana, mientras que en el caso de las edificaciones hablaríamos de tamaño real.

2.4.1 - IMPRESIÓN DE MAQUETAS

Este va a ser el ámbito que a la postre más nos va a interesar en el enfoque del trabajo, ya que nuestro objetivo final es la comunión entre el análisis, la maqueta, la impresión 3d y la realidad aumentada.

La impresión de maquetas 3d ha supuesto un enorme avance en la arquitectura y en el modo de proyectar en nuestros tiempos. Al ahorro de tiempo que supone el poder imprimir directamente y sin intermediarios la maqueta física sobre la cual trabajará el arquitecto se suma el ahorro económico de los costes de producción. Todo esto sin olvidar las ventajas de una vez obtenido el modelo, poder cotejar los problemas de implantación en un entorno también generado por impresión 3d así como errores formales, ya que la precisión que nos brinda la impresora 3d sería muy difícil de conseguir mediante las técnicas tradicionales de modelado de maquetas. Esto implica que el trabajo del arquitecto será mucho más preciso y podrá acortar en cierto modo los tiempos de diseño.

Existen numerosos materiales¹ para la impresión, que en función de los acabados que queramos obtener, nos aporta una gran libertad. Cabe destacar también que mediante el uso de lapiceros 3d, podemos retocar y variar las piezas impresas sin tener que volver a materializar todo el modelo, lo cual nos aporta una innegable versatilidad y capacidad de rectificación.

1 Materiales de impresión 3d: ABS, PLA, PVA, HDPE, Nylon, HIPS, PET y Ninjaflex son los materiales más recomendados por Mediatrends (2015)



2.4.2 - IMPRESIÓN DE EDIFICIOS DE PEQUEÑO FORMATO A ESCALA REAL

En este caso estamos cambiando totalmente de escala y nos movemos en edificaciones de una o dos plantas, en pequeño formato y con una capacidad de construcción rápida mediante "impresoras 3d" que obviamente tienen unas limitaciones de dimensión del edificio a realizar.

Se están desarrollando proyectos con vistas sobre todo a la producción rápida de módulos habitables básicos de pequeño formato con los cuales hacer frente a necesidades habitacionales masivas en casos de desastres naturales. Desastres como tsunamis o terremotos, que arrasan con un gran número de edificios y viviendas y que requieren de una rápida intervención arquitectónica para cobijar y realojar a una gran número de afectados. En este sentido nacen proyectos como el de la universidad de Nantes (Francia) (Anónimo, Impresión 3D..., 2015) que ha diseñado un brazo robótico que permite en menos de media hora, la impresión de un refugio de emergencia que puede ser utilizado por una persona en espera de una vivienda definitiva para estos casos de desastres naturales.

En china, la empresa "Winsun New Materials" ha desarrollado una impresora de gran formato (150 x 10x 6,6m.), con la cual logran imprimir edificios de un tamaño aceptable y duraderos con una velocidad de producción de 10 casas por día utilizando materiales de desecho industrial para edificarlas como refleja Aldama (2017). El modo operandi es similar al de una impresora 3d común, solo que en gran formato, con material base como cemento o alguna mezcla similar a la que compone el adobe, que se "extruye" conformando las capas pertinentes. Todavía tiene limitaciones geométricas, ya que para realizar un techado horizontal no se puede recurrir a la impresión sin generar una sustentación.

También se utiliza con fines arquitectónicos en el ámbito de la carrera espacial, ya que la creación de una construcción base sin tener que trasladarlo de manera prefabricada sería un gran avance para las agencias aeroespaciales.



Vídeo de la empresa "Winsun New Materials" en el que explica y muestra cual es el proceso constructivo que lleva a cabo mediante su impresora 3d para elaborar una casa



Impresión 3d a gran formato de un módulo habitacional mediante la impresora 3d de la empresa "Winsun New Materials"



Video demostrativo con pequeña maqueta realizada con impresión 3d en varias partes para salvar las limitaciones de tamaño de las impresoras estándar



Combinación de técnicas, por un lado tablero de DM con las trazas urbanísticas marcadas por cortadora láser y por otro bloques de edificios impresos en 3D

2.4.3 - VENTAJAS DE LA IMPRESIÓN 3D EN MAQUETA

Existen muchas tecnologías que han apoyado y facilitado la creación de maquetas arquitectónicas, pero sin duda la impresión 3d ha supuesto un salto considerable con una serie de ventajas que recogeremos a continuación:

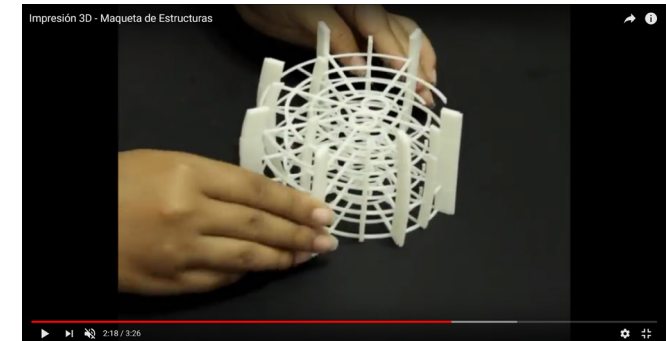
- Reducción del tiempo de creación: Los tiempos de producción de la maqueta se reducen notablemente. Es común en la actualidad que el arquitecto según avanza el proceso de diseño, vaya plasmando sus ideas tridimensionalmente en un modelo virtual, por lo que no deberíamos considerar el tiempo que se emplea en la creación del modelo virtual al 100% en el tiempo de creación de una maqueta. Por tanto podríamos decir que el tiempo de creación de la maqueta se reduce al tiempo que la propia impresora pueda tardar en crear nuestra maqueta, que dependerá de la precisión, la calidad y la dimensión de la misma. Maquetas que realizadas a mano llevarían varios días de trabajo, pueden pasar a ser obtenidas en apenas 12 horas de impresión.
- Aumento de detalle: Todos somos conscientes de la dificultad que entraña en ocasiones realizar ciertos tipos de detalles en una maqueta realizada a pequeña escala, donde nuestras habilidades manuales y los utensilios de los que gozamos nos parecen enormes para realizarlos. Pues bien, con la impresión 3d podemos realizar hasta el más mínimo detalle que consideremos oportuno en función del grado de precisión al que llegue nuestra impresora.
- Ahorro económico: La producción de una maqueta siempre es costosa, al precio de la mano de obra en caso de no realizarla a título personal, tenemos que sumar el coste de los materiales que utilizamos. Sin embargo gracias a la impresión 3d el coste se reduce a la cantidad de filamento utilizado en la impresión al coste de la energía utilizada por la impresora durante el proceso.



- Facilidad en la modificación: Otra ventaja que nos confiere la impresión 3d es la sencillez en la modificación de un modelo, ya que al realizarlo de manera virtual, simplemente habrá que volverlo a imprimir y volveremos a obtener el modelo deseado.
- Posibilidad de creación de formas complejas: Todos tenemos en mente proyectos como los de la difunta Zaha Hadid, proyectos complicados y de formas muy orgánicas que son muy complejos de llevar a la maqueta con los medios tradicionales. Pues bien, este tipo de arquitectura dificultosa no tiene ningún misterio para la impresión 3d, que tomará el modelo tridimensional, lo "cortará" en láminas equidistantes y lo imprimirá con absoluta precisión sin mayor problema.

Numerosos estudios de arquitectura se han adherido ya a este sistema de creación de maquetas por todas las ventajas anteriormente expuestas o al menos encargan sus proyectos a empresas que trabajan con esta tecnología.

Cabe destacar que el precio que aún tiene la impresión 3d no es del todo accesible a cualquier bolsillo, pero la previsión es que el coste de las impresoras y de sus items siga reduciéndose, por lo que en los próximos años es muy probable que los términos maqueta e impresión 3d se conviertan en indisolubles en el ámbito arquitectónico.



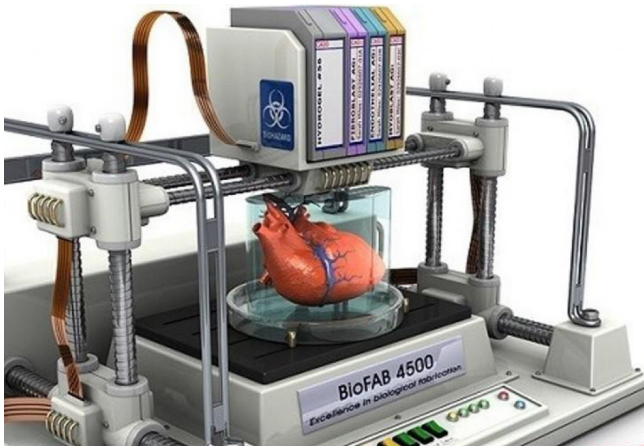
Timelapse de la impresión 3d de una pequeña maqueta de estructura



Impresión de formas complejas difícilmente obtenibles con técnicas tradicionales



Vídeo de la utilización de la impresión 3d en el sistema de férulas resistentes para recuperar esguinces y roturas óseas



Simulación de dispositivo futuro de impresión biomédica

2.5 - OTROS CAMPOS DE LA IMPRESIÓN 3D

La impresión 3d se ha desempeñado en otros muchos campos más allá de la arquitectura y las maquetas. De ellas hablamos a continuación, para destacar el avance que esta tecnología ha introducido en ámbitos tan dispares.

La impresión 3d en la medicina: En este ámbito la impresión 3d es una herramienta que puede aportar un avance extraordinario como destaca Rodríguez (2017). En el sentido que ya hemos comentado, la impresión 3d permite un alto grado de personalización del objeto a crear. Pues bien, en la medicina esta personalización se hace muy necesaria, ya que aunque se busquen estándares para tratar enfermedades, nunca dos personas son exactamente iguales ni tienen la misma reacción a los tratamientos, etc.

El ámbito más concreto donde la impresión 3d tiene cabida hoy por hoy dentro de la medicina, es el mundo de las prótesis, donde esa personalización de la que hablamos es totalmente necesaria para que la pieza creada encaje a la perfección en nuestro organismo. Un ámbito donde esto ya se lleva a cabo es el de la odontología. Para realizar un implante, se escanea el diente retirado para crear uno exactamente igual y que encaje a la perfección en el lugar correspondiente para evitar movimientos indeseados.

También debemos destacar el campo de los trasplantes, donde el uso de la impresión 3d aún se encuentra en una fase muy embrionaria pero donde puede realizar grandes aportes. Lo que se busca en este campo es aprovechar las células madre del propio individuo para que el tejido con el que se impriman los nuevos órganos tenga una compatibilidad total y se evite el conocido "rechazo" que provoca el tomar órganos de otras personas y con ello poder salvar más vidas. Obviamente es un campo en el cual se requiere aún de mucha investigación y desarrollo.

El funcionamiento de la impresión de tejidos es similar al de una impresora 3d común, un cabezal con un par de extrusores con los cuales se inyecta un hidrogel base y las células del paciente para que se cultiven con la forma deseada.



La impresión 3d en la alimentación: En este ámbito, la base de su desarrollo tiene una doble vía. Por un lado nos encontramos la ineficiencia de la producción actual de carne, que requiere de terreno, de energía, de comida para manutención de las reses, grandes cantidades de agua, etc. Todo ese coste energético y ecológico para la producción, hace muy viable la alternativa de la impresión directa de carne mediante las células determinadas y que permite tanto el ahorro energético, como evitar la necesidad del sufrimiento animal, que es un hándicap para el consumo por razones éticas para una parte de la sociedad.

Como apunta Vazhnov (2013), se calcula que en unos 30 años la demanda de carne en nuestro planeta va a aumentar en torno a un 70%, lo que requeriría de una cantidad de pasto para reses que simplemente supera la superficie total del planeta. Esto hace que los métodos tradicionales y su ineficiencia hayan puesto en auge estas nuevas técnicas.

Otro de los campos dentro de la alimentación donde se ha aplicado la impresión 3d es en el propio proceso de cocinado. La repostería es el apartado más sencillo de conseguir, ya que utiliza materiales alimentarios básicos con el fin de ser mezclados y situados, pero ya existen proyectos de innovación donde se puedan preparar elaboraciones mas complejas con puntos de cocción, aplicación de calor, etc.

Un ejemplo claro de este avance de la cocina moderna es el restaurante itinerante nacido en Londres llamado "Food Ink" (Sánchez, 2016), que elabora sus platos mediante impresoras 3d de alimentos, mientras al mismo tiempo se lleva a cabo todo el menaje y el mobiliario también mediante impresión 3d. Es un novedoso concepto culinario que sin duda divertirá a sus comensales.



Vídeo demostrativo del restaurante "Food Ink" donde podemos ver su concepto de cocina y el funcionamiento de sus sistemas de impresión



Ejemplo de impresión 3d alimenticia con la primera impresora de gominolas del mundo "Magic Candy Factory"



3 - REALIDAD AUMENTADA



3.1 - INTRODUCCIÓN

La realidad aumentada es un avance tecnológico, que nos ha permitido fusionar el mundo virtual y el real con numerosas aplicaciones y numerosos beneficios. Consiste en la introducción dentro del campo visual que nosotros mismos tenemos de manera real y fehaciente, de elementos virtuales que insertamos de manera puntual, bien para crear ilusiones irreales, bien para matizar la realidad existente (Crespo, 2017).

Cabe destacar la diferencia entre realidad virtual y realidad aumentada. El concepto realidad virtual corresponde a una realidad paralela al mundo que nos rodea, que es completa y enteramente virtual, mientras que la realidad aumentada es una fusión entre el mundo que nos rodea y elementos puntuales de una realidad virtual.

Existen numerosos dispositivos con los que establecer esta fusión entre objetos virtuales y nuestra realidad física, pantallas, cámaras, gafas, dispositivos móviles, tablets... Cualquier elemento con captación y representación de imagen, que permite insertar el objeto virtual en el punto deseado para introducir una información extra. El funcionamiento de la realidad virtual se ciñe al reconocimiento de marcadores puntuales a los que podemos asociar una cierta información virtual, ya sea un objeto, una imagen, un gráfico, un texto o cualquier cosa que se nos ocurra.

Esta capacidad de la realidad virtual para aportar información extra será la que trataremos de aprovechar en el caso práctico, estableciendo una serie de marcadores en nuestra maqueta física obtenida mediante tecnología 3d con la finalidad de presentar una información analítica a mayores, mezclando en una triple vía; la impresión 3d, la realidad aumentada y el análisis de la arquitectura; todo ello al servicio de la visión espacial real desde un dispositivo móvil.



Gama de dispositivos con los cuales trabajar la realidad aumentada

3.2 - CÓDIGOS QR Y MARCADORES



Los marcadores son un aspecto fundamental para comprender el funcionamiento de la Realidad Aumentada y como conseguimos representar esa realidad virtual y envolverla en nuestra realidad palpable. Es importante no confundir los marcadores que se utilizan en realidad aumentada, con los códigos qr (podemos encontrar varios en este trabajo).






Los códigos QR son un derivado de los famosos códigos de barras. Funcionan como un código de "respuesta rápida" (quick response) que se puede leer mediante distintos dispositivos y que permite obtener una información más amplia que la que ofrecían sus predecesores. Son un código abierto; que sin necesidad de ninguna plataforma específica podemos leerlos con cualquier dispositivo; y su estructura podemos verla al margen y en el artículo de Jiménez (2013). La lectura de estos códigos nos permite diversas aplicaciones como llevarnos a la descarga de un archivo, de una aplicación, aportarnos una geolocalización, darnos el link de una web, etc.

En el caso de los marcadores el funcionamiento es similar, pero la principal diferencia es que mientras los QR son un código abierto, los marcadores son un código también bidimensional pero que vienen asociados a una determinada plataforma. Esto significa que necesitamos el software específico al cual se encuentra asociado el marcador ya sea en ordenador o en dispositivo móvil. Un marcador siempre debe tener un borde completamente negro bien definido y una serie de patrones entre el blanco y el negro en su interior para ser leídos y reconocidos sin problemas.

También destaca la funcionalidad de los marcadores de estar asociados a un volumen virtual, por lo que si nosotros movemos o giramos el marcador, el objeto virtual que estaremos captando con nuestra cámara (ya sea en dispositivo móvil o en ordenador) también se moverá y rotará en consonancia con el marcador.



Vídeo de la demostración de la lectura de marcadores mediante un dispositivo móvil

Patrones	Datos
 Permite a la cámara reconocer la posición del código y leerlo en cualquier ángulo.	 Expresa la versión del código (densidad). A mayor densidad, mayor dificultad de leerlo a distancia.
 Alinea el patrón de posición corrigiendo posibles inclinaciones.	 Indica el formato en que está contenida la información.
 Sincroniza el patrón de posición.	 Contiene el resto de la información.

Explicación de la distribución de la información en un código qr y su funcionamiento



Ejemplo de marcador de Realidad Aumentada



Modelo código Qr con las partes expuestas arriba



3.3 - RA: ARQUITECTURA



Vídeo demostrativo de la aplicación de las gafas "Hololens" en la arquitectura y sus potencialidades



Trabajo de realidad aumentada con dispositivos móviles en el instituto de realidad aumentada de la India

La realidad aumentada hoy en día es de aplicación en numerosos campos. Por ejemplo en el mundo de la arquitectura, que es el que nos atañe, sobre el cual se define la realidad aumentada en artículo de Redondo, Sanchez, Fonseca y Navarro (2013, p.12) "...un instrumento que al superponer imágenes generadas digitalmente en un espacio real puede facilitar un mayor conocimiento y una mejor interpretación de nuestro entorno, uno de los campos donde ésta pudiera resultar potencialmente más interesante es el de la representación y gestión del territorio, ya que al generarse una escena completada con información virtual en el mismo lugar donde el usuario se encuentra es posible, por ejemplo, visualizar propuestas de intervención de nuevos edificios y verificarlos en su emplazamiento previsto."

Esto define a la perfección la potencialidad que ofrece la realidad aumentada en la arquitectura, que acerca el entendimiento de algo no construido a las personas que no están formadas para comprender planos de arquitectura. Ya que uno de los pasos más complejos que siempre han existido en el trabajo del arquitecto es el paso de plasmar las ideas arquitectónicas en un tipo de información comprensible para el cliente que no tiene una formación específica, de modo que pueda entender las ideas que le resulta imposible cuando se encuentran representadas en simples planos.

Además puede potenciar y modificar el modo de proyectar que existe en la actualidad con herramientas como las gafas "Hololens", que nos permite ver edificios ya implantados en el entorno e incluso interactuar con ellos. Pero además y lo más interesante es que se puede simular la edificación en fases previas para cotejar temas constructivos como la situación de los pilares, la correcta canalización de las instalaciones, etc; como se refleja en el artículo (Anónimo, "La arquitectura y...", n.d.). En el futuro se plantea que sean los propios obreros quienes porten este tipo de gafas para ir revisando palmo a palmo la idoneidad de la construcción y puedan buscar posibles defectos constructivos o estructurales. Arquitectos como Greg Lynn ya lo han puesto en práctica, en su caso en la Bienal arquitectónica de Venecia en la cual presentó un complejo arquitectónico futurista en el cual se apoyaba en el uso de estas tecnologías de Realidad Aumentada.

3.4 - RA: ENSEÑANZA



Otros campos en los cuales se ha desarrollado más incluso el uso de la realidad aumentada es en la enseñanza. En este ámbito hasta ahora se había utilizado el formato papel, asistiendo al texto únicamente con imágenes de los temas a los que el contenido iba aludiendo. Hoy por hoy hay numerosos planes de enseñanza en los que se implementa la tecnología con tablets por alumno, pizarras interactivas o proyectores.

Pues bien, otra modalidad en este avance de la enseñanza es efectivamente la realidad aumentada y la introducción de códigos que leídos mediante dispositivos móviles o esas mismas tablets, aportan información adicional al hilo argumental del texto que se esté desarrollando. Esto aporta una mayor interacción entre el alumno y el objeto de estudio, lo cual puede combatir el peligro del bajo rendimiento académico en el aula con largas horas de explicaciones a las que el alumno se mantiene totalmente ajeno por momentos. De este modo esa capacidad de ir descubriendo lo que esos códigos nos pueden mostrar, de tener distintas percepciones de una misma realidad como detalla en su artículo en "El País" (Sangrà, 2013). Imaginemos por ejemplo el caso de la Gioconda, una obra de arte de la que todos hemos oído hablar, de la que se explica que el cuadro, lo miremos por donde lo miremos, nos sigue con la mirada. Este sencillo efecto visual que no podemos cotejar mediante una simple fotografía, podría ser comprobado por el propio alumno al estar viendo la obra con la ayuda de la Realidad Aumentada.

Ámbitos tan técnicos como las matemáticas se vuelven más accesibles haciendo mucho más visuales cálculos y conceptos como por ejemplo las superficies regladas, que podríamos ver conformarse delante de nuestros ojos y poder asociar visualmente el cálculo matemático con esa generación de realidad aumentada que surge ante nuestros ojos.

En definitiva, la mayor aportación que la Realidad Aumentada va a tener sobre la enseñanza es hacerla más atractiva e intuitiva para el alumno, que es algo fundamental en los tiempos actuales donde los más jóvenes asocian su interés a estímulos muy visuales e informáticos.



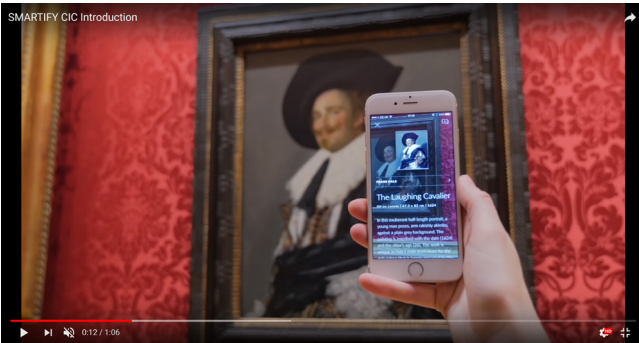
Ejemplo de trabajo con Realidad Aumentada para poder observar la superficie reglada que produce la función descrita en la parte inferior de la pantalla



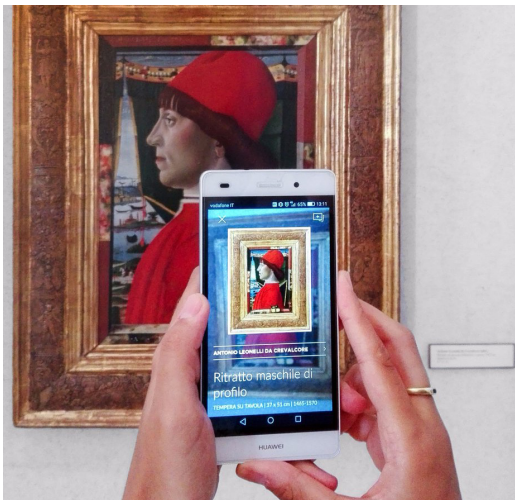
Aula de trabajo con alumnos interactuando mediante dispositivos móviles (tablets) con códigos de reconocimiento de Realidad Aumentada



3.5 - RA: MUSEOS Y EXPOSICIONES



Vídeo explicativo del funcionamiento de la aplicación "SMARTIFY" para museos y exposiciones



Ejemplo de detección con "SMARTIFY" de la obra de Antonio Leonelli da Crevalcore, "Retrato de un hombre joven", 1475

Resulta también muy relevante en el ámbito de la Realidad Aumentada el campo referente a los museos y las exposiciones. En este ámbito se busca cada vez más una interacción entre lo expuesto y el visitante, crear experiencias, realidades, ilusiones al modo de un pequeño espectáculo de magia donde la exposición te va sorprendiendo a medida que puedes descubrirla.

Existe una aplicación para smartphones que sin pertenecer específicamente a ningún museo concreto permite ampliar la experiencia que puedes tener en cualquier muestra mediante la introducción de información a partir de la visión de la obra a través de la cámara de tu smartphone. La aplicación se llama "SMARTIFY" y en definitiva lo que hace es reconocer una pieza a través de una serie de rasgos y aportarnos interesante información de la misma en la pantalla de nuestro teléfono móvil (Palou, 2017). Con ello se evita la necesidad de acudir a pesadas audioguías, panfletos y similares. Todo se vuelve ágil y directo. Solo tendremos la información de las obras que nos interesen y la experiencia y la visita será mucho más fructífera, interactiva y profunda de lo que los sistemas tradicionales nos permiten.

Este ejemplo lo tomaremos para nuestro caso práctico ya que en esencia, uno de los objetivos que nos hemos marcado es que una vez tengamos el modelo tridimensional completo (que vendría a equivaler a tener una cierta escultura), podemos añadirle información, análisis, esquemas, al igual que en esta aplicación al reconocer la pintura o la escultura nos aporta información útil de la misma. En este caso, la aplicación en lugar de utilizar códigos o marcadores de referencia, reconoce la imagen entre todo el abanico de obras de arte que posee en su base de datos.



3.5.1 - LA CIUDAD COMO MUSEO

Existen otras experiencias donde la calle se convierte en museo y mediante aplicaciones móviles podemos vivir una especie de exposición a lo largo y ancho de la ciudad que nos permite gozar de una experiencia distinta a una visita tradicional.

Un claro ejemplo de este tipo de experiencias de Realidad Aumentada es el establecido en la ciudad de Berlín mediante la aplicación "Time traveler". Es una app para dispositivos móviles destinada a ofrecernos una experiencia de Realidad Aumentada a lo largo de distintas ubicaciones de la ciudad y que nos traslada a una época pasada utilizando elementos físicos de fachadas y edificios como referencia.

De este modo la aplicación nos mostrará vídeos, restituciones de edificios preexistentes y un sinnúmero de detalles de la época de la división alemana por el muro de Berlín como se detalla en el artículo de Frutos (2014) en el que se recogen los detalles que podemos visualizar a través de esta experiencia como observar la demolición de la iglesia de la Reconciliación o la huida de Frida Schulze a través de la ventana por la que se fugó. Toda una experiencia histórica y urbanística gracias a la cual podemos entender un poco mejor cual ha sido el desarrollo de esas zonas y el impacto que un acontecimiento histórico tan trascendente a tenido sobre ellas.

Esta aplicación tiene una versión gratuita y resulta una experiencia de Realidad Aumentada que nos acerca las potencialidades que esta tecnología nos puede ofrecer en el plano de la urbanística y de la restitución histórica de las ciudades.



Vídeo demostrativo de la aplicación "Time traveler" mediante la cual podemos vivir la experiencia de Realidad Aumentada en la ciudad de Berlín



Imagen de la restitución de elementos históricos de la ciudad de Berlín con los cuales podemos observar la arquitectura y el estado de la misma en la época de su famoso muro

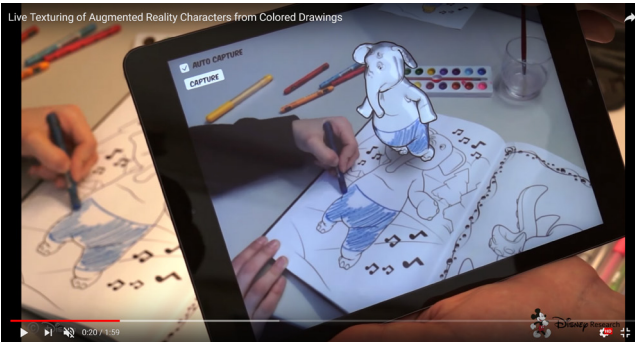


3.6 - RA: LIBROS INTERACTIVOS



3.6.1 - LIBROS EDUCATIVOS Y DE ENTRETENIMIENTO

Un ámbito en el cual está creciendo el uso de la realidad aumentada es el de los libros educativos y de entretenimiento, en el cual la industria está haciendo un gran uso de cara a los más pequeños. Grandes multinacionales del entretenimiento han acudido a esta tecnología para hacer más atractivos sus productos y entre ellas podemos destacar el ejemplo de Disney.



Vídeo demostrativo del sistema de libros de pinta y colorea interactivos de Disney

Disney ha creado un sistema de Realidad Aumentada muy interactivo en el cual un simple y sencillo libro para colorear adquiere otra dimensión. Con la simple ayuda de una tablet podemos visualizar un modelo tridimensional que va siendo coloreado al mismo tiempo que nosotros físicamente vamos dando color con un lapicero de color al dibujo físico que tenemos en el cuaderno. Mediante unas referencias derivadas del dibujo original que se asocian a un patrón volumétrico, detecta el color aplicado y lo reproduce tridimensionalmente, dando un divertido aspecto de dibujo manual en 3 dimensiones.



Libro "Dinosaurs 3d Book", ejemplo de libro educativo interactivo mediante App de Realidad aumentada

Por otro lado un gran número de editoriales se han adherido al mundo de la Realidad Aumentada, estableciendo esta tecnología para hacer más atractivos sus cuentos para los más pequeños. Es el caso de editoriales como BooksarAlive, Larousse o MacMillan entre otras que dan vida a sus publicaciones. Títulos como "La tierra en movimiento", "Ice Age, la formación de los continentes" o cuentos clásicos como "Hansel y Gretel" se convierten en un elemento mucho más atractivo para las nuevas generaciones que han nacido con un smartphone y una tablet como elementos habituales y los cuales, los sistemas antiguos de simples cuentos en papel se les quedan cortos.



3.6. - LIBROS DE ARQUITECTURA

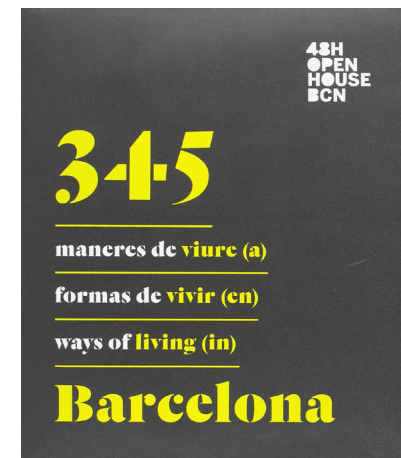
En el ámbito de la arquitectura también podemos disfrutar de libros en formato papel que nos permiten combinar la experiencia del tradicional olor del papel impreso con los efectos visuales de la Realidad Aumentada en nuestros dispositivos móviles.

Un ejemplo de este tipo de fascículos relacionados con la arquitectura es el libro "345 formas de vivir (en) Barcelona" publicado por la asociación 48h Open House Barcelona en colaboración con el Ayuntamiento de Barcelona. En él se hace un repaso virtual de más de 345 espacios distintos de la ciudad de Barcelona, poniendo en valor su arquitectura y la calidad de sus espacios.

El libro aporta información escrita y visual, combinada con una app para móvil mediante la cual podemos reconocer distintas imágenes y elementos trenzados con su línea argumental. Esta aplicación nos llevará a paseos virtuales mediante vídeos, realidad simulada de espacios que podremos percibir por completo moviendo en todas las direcciones la cámara de nuestro smartphone y elementos tridimensionales emergentes que nos ayudarán a comprender mejor los espacios y nos acercarán su arquitectura sin la necesidad de desplazarnos a través de toda la geografía de la ciudad de Barcelona.



Videotutorial del funcionamiento de la aplicación y el libro para explorar los rincones de la ciudad, "345 formas de vivir (en) Barcelona" de 48h Open House Barcelona



Portada del libro "345 maneras de vivir (en) Barcelona" editado por la asociación 48h Open House Barcelona en colaboración con el Ayuntamiento de Barcelona



4 - MAQUETA Y ANÁLISIS



4.1 - BASES PARA EL ANÁLISIS DE LA ARQUITECTURA



Entrevista con Francis D. K. Ching en el que explica su carrera y su trabajo



Francis D. K. Ching realizando uno de sus bocetos

El análisis de la arquitectura es un campo fundamental para el conocimiento y el entendimiento de toda la historia de la arquitectura y de su posterior desarrollo. Por ese motivo este aspecto es básico para un arquitecto, tanto desde el punto de vista del proceso proyectual como desde el punto de vista del análisis interpretativo de arquitectura.

Muchos autores han escrito acerca del Análisis en la arquitectura, entre ellos, Francis D. K. Ching, que convirtió su libro "Arquitectura, forma, espacio y orden", Ching, (2007) en uno de los manuales por antonomasia de esta categoría arquitectónica sobre todo a nivel gráfico. En él desarrolla una guía con las distintas categorías desde las cuales se puede estudiar y analizar cualquier objeto arquitectónico, tanto en su aspecto eminentemente formal o espacial, como por sus relaciones con el entorno y los condicionantes previos.

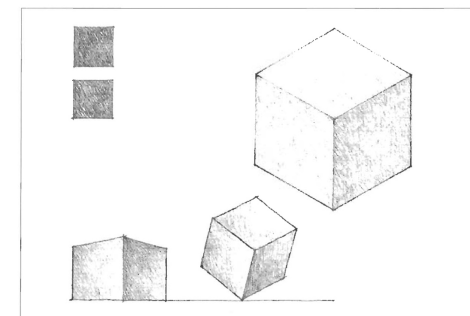
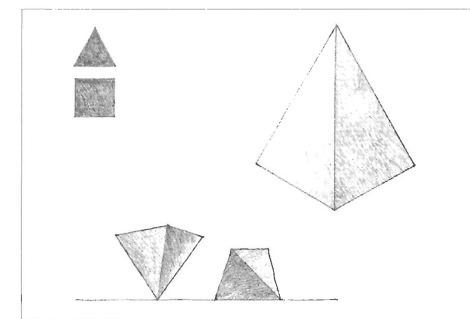
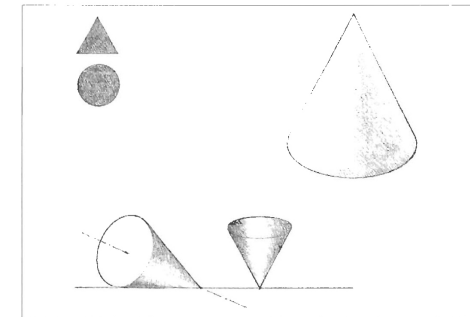
Existen varios niveles de análisis según Ching, (2007) donde por un lado analiza los elementos arquitectónicos y por otro los órdenes analíticos. Dentro de los Elementos destaca el espacio, la estructura y el cerramiento por un lado, el programa por otro y sin duda la tecnología constructiva. Todo éste análisis pertenecería al orden físico, mientras que tendríamos que sumar a éste el orden perceptivo donde se encuadrarían las relaciones de espacio-tiempo que se derivan de la aproximación, la luz, las vistas y los recorridos. Por último hablaríamos del orden conceptual donde encontramos imágenes, patrones, que definen el orden compositivo, así como del programa funcional del edificio.

Todo esto configura un sistema de análisis de todas y cada unas de las cuestiones que afectan a la arquitectura y a su interpretación. Debemos distinguir en consecuencia el análisis de proyecto; que se realiza durante el proceso de desarrollo del mismo; y el análisis a posteriori; que correspondería al análisis como interpretación de la arquitectura y que va a ser el que nosotros desarrollemos aquí.

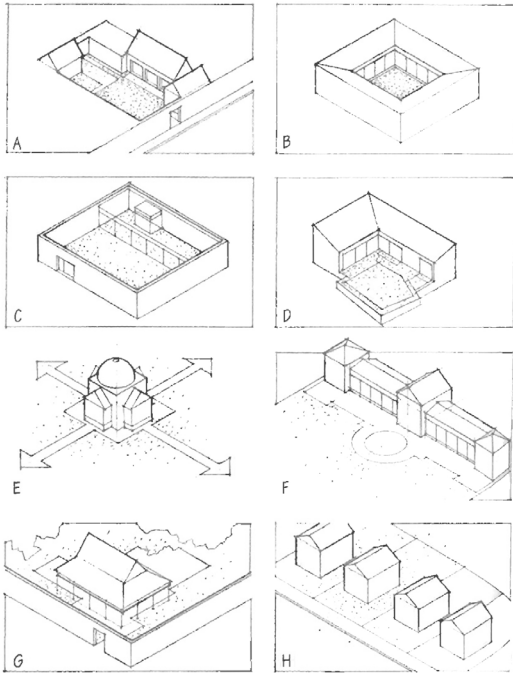
También podemos destacar la diferencia entre el análisis gráfico y el no gráfico ya que no todas las ideas que se relacionan con la arquitectura son traspasables al papel de manera gráfica, sobre todo en el orden perceptivo, ya que hay muchos conceptos que se escapan y trascienden a esa vía analítica. Por ejemplo, el ambiente de una ubicación con un riachuelo cercano, donde el correr del agua nos aporte una cualidad auditiva inigualable o el canto de los pájaros en caso de ser una zona arbolada nos aporta una cualidad de proyecto que no podemos reflejar fácilmente mediante una definición gráfica como trata Zumthor (2010).

De este modo nos centraremos en las bases para el análisis gráfico de la arquitectura, que utilizaremos para analizar la casa Morris dentro de la producción no construida de Louis I. Kahn. En ese sentido destacar el análisis de los apartados gráficos establecidos por Francis K. D. Ching (2007). Tenemos varias categorías:

- **Elementos primarios** con todo lo relacionado con punto, línea, planos y volúmenes.
- **Forma**, con todo lo relacionado con geometría, transformación de la forma, tramas y relaciones entre esas formas.
- **Forma y espacio**, con la relación entre la forma y los espacios que se generan en función de las posiciones de la primera además de las aberturas, luz, vistas, etc; y las relaciones que se establecen entre ellas.
- **Circulaciones** y los elementos que intervienen en ella como la posición, accesos, aproximación al edificio, etc
- **Proporción y escala**, ya que define muchos aspectos, no solo a nivel de tamaño global de la edificación, sino la escala de los acabados, la proporción de los interiores, etc
- **Principios ordenadores** con los ejes, las pautas y los ritmos compositivos que articulan la arquitectura.
- **Emplazamiento** en el cual se sitúa la arquitectura y todos los condicionantes que establece el lugar en el que se apoya.



Esquemas analíticos acerca de la forma extraídos del libro de F. Ching "Arquitectura, forma, espacio y orden"



Esquemas analíticos acerca de la relación entre la forma y el espacio y como interactúan ambos, extraídos del libro de F. Ching "Arquitectura, forma, espacio y orden"

De este modo hemos establecido unas categorías analíticas que nos van a servir de base para poder estandarizar el análisis de cualquier caso de estudio de manera general, pero existen muchas otras que podrían ser igualmente válidas. Tomaremos como criterio general las siguientes:

- **Forma**
- **Envolvente**
- **Función**
- **Circulación**
- **Estructura**
- **Emplazamiento**

Todas estas categorías establecen y analizan de manera pormenorizada los aspectos necesarios para poder poner en valor las cualidades de la edificación. De ese modo podemos establecer un análisis con el que poder explicar de un modo más visual nuestro caso de estudio, que en este sentido versará sobre la casa Morris pero que podría realizarse sobre cualquier edificio que considerásemos siguiendo esas pautas analíticas. Dentro de cada apartado pueden existir determinados subcategorías en mayor o menor número en función de las características de la arquitectura que estemos analizando.

4.2 - IMPRESIÓN 3D Y MAQUETA



La maqueta ha sido, durante mucho tiempo, un elemento clave en el análisis de formas tal y como nosotros abordamos en este trabajo. Ha servido como instrumento para poner en valor distintas características de cualquier objeto arquitectónico que debamos estudiar y siempre nos ayuda a facilitar su comprensión de una manera más visual y efectiva, sacando el análisis del papel para darle una tercera dimensión. De este modo, la maqueta se convierte en un proyecto en sí mismo que busca representar una idea básica del proyecto analizado en cualquier ámbito analítico.

La elección del material y la técnica para su consecución siempre han sido claves en función de lo que el arquitecto pretendía que la maqueta expresase del proyecto estudiado. En este aspecto podemos destacar la enorme revolución que ha supuesto la tecnología de la impresión 3d en el mundo de la maqueta. La maqueta en arquitectura ha tenido históricamente un peso muy importante, sobre todo en las épocas en las que no gozábamos de ordenadores con software de simulación virtual en 3 dimensiones. Siempre ha sido concebida como un medio y también como un producto.

Ya desde la antigüedad su importancia en nuestra profesión ha sido clave, aunque en muchas ocasiones la dificultad de conservación de estos artefactos ha supuesto que el ámbito de la maqueta haya sido mucho menos estudiado y puesto en valor en ocasiones que el ámbito del dibujo. Uno de los primeros arquitectos que aprovechó las cualidades de una maqueta para ponerlas al servicio del diseño fue Filippo Brunelleschi, que mientras diseñaba la cúpula del Duomo de Florencia, se aprovechó de la capacidad de simulación de la maqueta para diseñar su forma, posición y características como refleja en su artículo (Wilton-Ely, 2006), que también destaca el caso de Miguel Ángel, que en el caso de la basílica de San Pablo realizó dos maquetas del proyecto al modo que destacábamos anteriormente. Por un lado estableció una maqueta de arcilla a modo especulativo para poner en crisis las ideas que tenía sobre el proyecto (una maqueta analítica de trabajo) y posteriormente una más detallada en madera como objeto propagandístico que utilizó para mostrar a Pablo VI.



Maqueta analítica del paseo marítimo de de la Playa de Poniente Benidorm Carlos Ferrater - Xavier Marti Gali



Maqueta analítica realizada enteramente por grapas simulando el espacio urbano de una ciudad moderna

Un gran exponente del mundo de la maqueta en la actualidad es el holandés Vincent de Rijck, todo un experto en el uso del poliéster para la producción de maquetas. Su carrera se puede decir que nació con el aeromodelismo, donde dió sus primeros pasos en el mundo de la "maqueta", para acabar trabajando junto a uno de los arquitectos más reputados como es Rem Koolhaas. Vincent destaca en su entrevista para Archinect (2008) la capacidad de la impresión 3d para mantener el alma del boceto del arquitecto, manteniendo el modelo como una suma de trazos de la impresora que va configurando ese volumen. Un aspecto clave en esa concepción analítica de la maqueta que nosotros queremos reflejar.

En ese ámbito, de Rijck, al ser cuestionado sobre la capacidad de corrección de la maqueta sobre el proyecto, la asume como una consecuencia natural, pese a la dificultad en ocasiones de percibir esos fallos o posibles modificaciones en medio del proceso constructivo de la misma. Sobre esta capacidad de corrección de las maquetas escribe Bravo (2012, p.41) en su artículo, donde destaca la capacidad de feedback entre la información en 2D y la información en 3d.

En este artículo se expone la constante interacción existente entre la información 2D y la información 3D a lo largo del proceso de análisis proyectual. Es una relación donde aspectos donde el 3D no puede llegar son alcanzados mediante el modelo 3d y aquellos que este último no puede detallar, se resuelven mediante información bidimensional. En palabras de Bravo (2012, p.42) "Los sentimientos de escala y presencia espacial no pueden ser esbozados ni dibujados, permaneciendo únicamente en la maqueta física y no pudiendo ser obtenidos a través de imágenes virtuales. Los arquitectos continuamente vuelven a las presentaciones bidimensionales del edificio, adelante y atrás, entre las maquetas y los diagramas, entre bocetos y maquetas, entre las pantallas y el papel. La interacción entre dibujos, maquetas y fotografías proporciona una imagen más realista del edificio.". Esta afirmación refuerza la tesis de que la maqueta es un elemento indispensable en el proceso tanto analítico como proyectual resolviendo cuestiones que el dibujo no puede alcanzar.



Este proceso desencadena un hilo conductor de trabajo en el cual se comienza por una maqueta física de trabajo que pasa a modelo 3d con sus correcciones oportunas bidimensionales y que desencadena en la maqueta física definitiva mediante impresión 3d. Dentro de este proceso, pueden existir un mayor número de pasos del papel al modelo físico en función de las correcciones y modificaciones que el proyectista vaya realizando al proyecto hasta alcanzar la versión definitiva.

Podemos destacar por un lado que la realización tradicional de las maquetas es más costosa tanto por los materiales como por los instrumentos de precisión necesarios para llevarlas a cabo. Además del problema de las maquetas a pequeña escala, muchísimo más complejas de hacer por estos métodos, debido a la limitación en la precisión de los trabajos realizados manualmente por el ser humano. Pero lo realmente clave en el uso de la impresión 3D en el mundo de la maqueta es la tecnificación en la elaboración de las mismas, que va en consonancia al desarrollo que tenemos actualmente en la arquitectura más técnicamente avanzada.

Obviamente y como en cualquier otro ámbito, en la creación de maquetas se fueron introduciendo gradualmente mejoras relevantes que facilitaron la ardua tarea que puede suponer a veces estas pequeñas obras manuales. Las herramientas de corte como máquinas caladoras, hilos calientes, etc por un lado; lijadoras automáticas por otro, taladros y toda una serie de artilugios mecánicos que facilitaban la manipulación de los materiales necesarios para la construcción de esas maquetas redujeron el tiempo a emplear y el coste de las mismas. Otro salto considerable fue la introducción del corte láser, una tecnología que nos aporta gran precisión, rapidez y comodidad, para la obtención de piezas que sumadas unas con otras conformarían el volumen de una maqueta. Además podemos encontrar paralelismos entre el corte láser¹ y la impresión 3d en la cual nos centraremos.

1 El corte láser funciona como una suma de estratos donde por ejemplo en la parcela del urbanismo se toma la escala de la plancha a cortar como la altura de un piso, por lo que un edificio de cinco plantas se conformaría pegando unas a otras, 5 piezas iguales con el mismo contorno. Al fin y al cabo es el procedimiento que seguirán las impresoras 3d que crean el objeto deseado capa a capa pero por sistema aditivo frente al sustractivo que supone el procedimiento de corte.



Vídeo con un interesante Workshop sobre realización de maquetas de Vincent de Rijck



Vincent de Rijck trabajando en una de sus maquetas



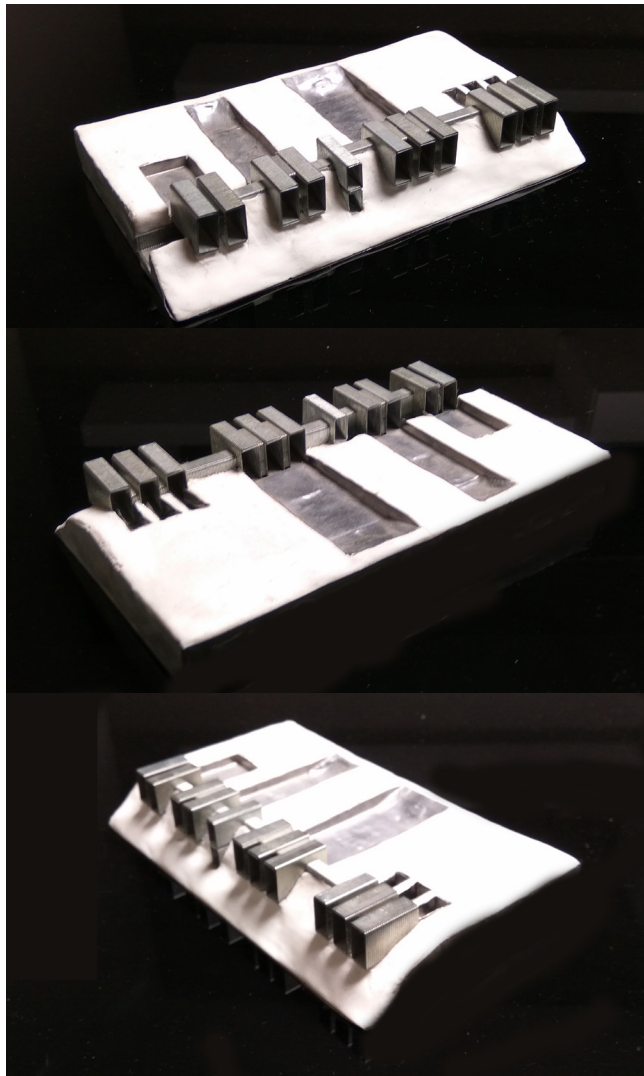
4.3 - PEQUEÑAS MAQUETAS PARA EL ANÁLISIS DE ARQUITECTURA

Dentro del mundo de la maqueta en el análisis de la arquitectura existe una gran variedad de posibilidades, dada la amplia gama de materiales, técnicas y conceptos que la maqueta puede abarcar.

En muchas ocasiones, la maqueta se percibe más como un producto final una vez terminado todo el proceso creativo que como un elemento de trabajo y análisis, pero es en ese preciso ámbito donde la maqueta adquiere unas grandes potencialidades. Frank Gehry aseveraba que "Me lleno de excitación y a partir de ahí me traslado a las maquetas, y las maquetas absorben toda la energía y necesitan información sobre la escala y las relaciones que no pueden concebirse en su totalidad en los dibujos. Los dibujos son algo efímero. Las maquetas son lo específico" (Carazo, Galván, 2014). Con esto, Gehry pone en valor la capacidad de las maquetas de hacer físicas las ideas que fluyen en la cabeza del arquitecto para valorar parámetros que en el simple dibujo se hacen más complejos como la escala y las relaciones analíticas, compositivas, etc.

La capacidad que en ese sentido nos ofrece una maqueta para analizar las características del objeto diseñado ayudan a prevenir posibles modificaciones constructivas, que de no haber sido detectadas en origen en un modelo tridimensional, supondrían un importante sobrecosto en el proceso constructivo de la edificación como asevera en su libro Wotton (1624).

La maqueta en si tiene una doble vertiente (Carazo, Galván, 2014), por un lado la derivada del término inglés "model"; que concibe la maqueta como un modelo, una representación fehaciente de lo que el proyecto va a ser; y por otro lado derivado del término francés "maquette" que deviene de la "machia" en italiano, que traducido nuevamente al español se define como esbozo o boceto. En definitiva refiriéndose a un elemento inacabado, parte de un proceso en curso y elemento de desarrollo. Lo que refuerza la idea de la dualidad de las maquetas en función del objeto con el cual hayan sido concebidas y del punto del proceso creativo en el que nos encontremos.



Maqueta analítica de trabajo realizada por el autor del trabajo mediante grapas en la asignatura de Análisis de formas sobre la Casa Rural de RCR arquitectos

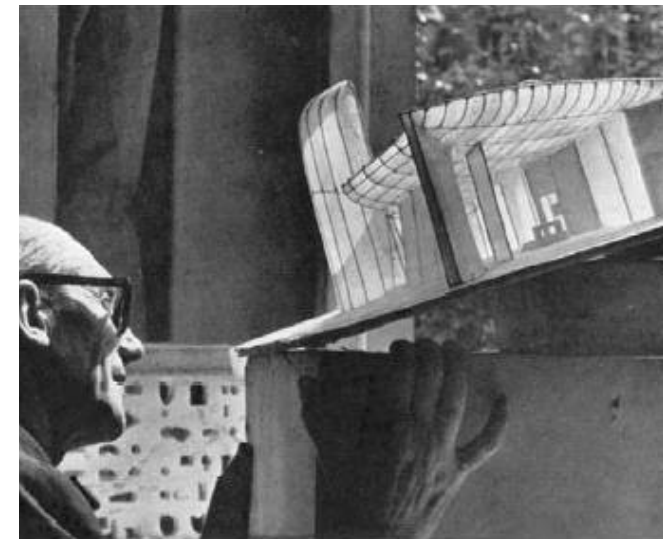
Pero no es necesario remontarnos a los tiempos del barroco como antes hemos tratado, algunos ejemplos interesantes del uso analítico de las maquetas, los podemos encontrar en arquitectos de la talla de Le Corbusier o Bruno Zevi entre otros. Éste último realizaba un uso muy pedagógico de las mismas en sus clases para la Universidad de Roma, donde utilizaba el concepto “plastici critici” (maqueta crítica traducido al castellano) para analizar elementos arquitectónicos antiguos como la propuesta defensiva para la ciudad de Florencia establecida por Miguel Ángel, en la que lejos de establecer una representación fideligna de las murallas de la ciudad analizaba su funcionalidad y sus sistemas compositivos (De Fusco, 1977).

Existen otros ejemplos más modernos del uso de las maquetas en su vertiente analítica, como por ejemplo el que utiliza Le Corbusier para el proyecto de una de sus obras más reconocidas y al mismo tiempo alejadas de su línea habitual de producción arquitectónica, Ronchamp. Para este proyecto, el arquitecto elabora dos maquetas distintas pero igualmente necesarias. La primera de ellas corresponde a un modelo en yeso, de carácter masivo que representa la potencia y la contundencia de la forma y la volumetría del proyecto, exponiendo de este modo ese apartado analítico que nosotros hemos expuesto en el capítulo anterior (la forma). La segunda maqueta que realiza es mucho más liviana, realizada con materiales muy ligeros y con numerosos huecos. En principio la lógica nos invitaría a pensar que ambas maquetas son totalmente opuestas y no pueden corresponder con una misma idea de proyecto, sin embargo, esta segunda maqueta alude a otras categorías analíticas, donde estudia relaciones internas que desde la maqueta masiva formal, le sería imposible mostrar.

Al contrario de una maqueta de imagen; en la cual el nivel de detalle es directamente proporcional al grado de perfección y atractivo que queramos aportar a la maqueta y que suele ir ligado a una finalidad de promoción y puesta en valor del proyecto; en el caso de las maquetas analíticas el detalle no es lo importante, lo importante es el concepto que queramos poner en valor de todas las cualidades arquitectónicas que pueda tener nuestra idea de proyecto. Puede ser la liviandad, la transparencia, la funcionalidad, la versatilidad, etc.



Maqueta masiva de Notre Dame du Ronchamp realizada en yeso por Le Corbusier. Foto tomada del Centro Pompidou.



Le Corbusier con su maqueta analítica realizada mediante materiales livianos analizando posibles modificaciones en el proceso proyectual



Maqueta analítica del "Neanderthal museum" conformada por volúmenes puros en madera



Maqueta analítica de uno de los proyectos de MVRDV

Innumerables cualidades que mediante la elección de materiales y del sistema constructivo que empleemos para la creación de la maqueta, pondrá en valor unas u otras. Aunque indudablemente además de poner en valor nos pueden servir para poner esas cualidades en cuestión y revisar los conceptos previos que habíamos establecido en su creación. De este modo la maqueta analítica nos brindará un feedback muy útil en el desarrollo proyectual de nuestras ideas.

En ese sentido la impresión 3d lleva el tamaño de la maqueta de trabajo a unas dimensiones limitadas por la propia caja de impresión. ¿que aporta esa limitación de tamaño a la maqueta de análisis?. Pues bien, esa limitación de tamaño es un arma pedagógica que impide que se pueda confundir la finalidad de la maqueta, ya que en un formato mayor la capacidad de entrar en detalle arquitectónico es mucho mayor y por tanto la tentación de la simplicidad de hacer una réplica del edificio y acabar convirtiendo la maqueta en una mera reproducción a pequeña escala es mucho mayor.

La dimensión reducida obliga a que la idea analítica sea obligada y a que la elección de material y de la idea que se quiere plasmar sea ineludible. Su pequeña dimensión además nos obliga a sintetizar las ideas que queremos plasmar en ella y nos aporta la posibilidad de pensar con ella y de manipularla y visualizarla en nuestras manos, para atender a los detalles que menos pudiéramos considerar cuando aumentamos la escala. Además obviamente de las ventajas de manejabilidad y capacidad dinámica de su uso que se recoge en el artículo ya citado (Carazo et al., 2014). Todo esto sin olvidar las posibilidades que nos ofrece y que las convierte casi en un juguete con el que poder divertirnos y hacer mas ameno ese estudio analítico y las hace un elemento sumamente atractivo.



5 - CASO PRÁCTICO



5.1 - PRESENTACIÓN



Suma de tecnologías y recursos disponibles para la puesta en valor de la obra de Louis Kahn

Todo lo expuesto anteriormente se concreta en un caso práctico en el que hemos tratado de realizar una experiencia en la cual participen tanto la tecnología de la impresión 3d como la tecnología que nos ofrece la realidad aumentada aplicadas al análisis de la arquitectura. En concreto tomaremos como modelo de análisis la casa Morris de Louis I. Kahn estudiada previamente por Galván (2012) en su tesis "Voluntad de existir: las viviendas no construidas de Luois I. Kahn". Extraeremos la información, análisis y esquemas que trataremos de aplicar y ejecutar con la metodología que a continuación expondremos.

Para comenzar nos familiarizaremos con el trabajo de impresión a través de la impresora proporcionada por la sección EGA de la ETSAV. Expondremos las conclusiones de su uso, su compatibilidad con los programas de edición y modelado 3d y las facilidades y obstáculos que nos encontremos respecto a su funcionamiento.

Una vez superada la fase de formación de la impresora 3d, hemos procedido a buscar entre la multitud de programas de realidad aumentada que ofrece el mercado, para poder seleccionar el que más se adaptaba a los objetivos buscados, tanto en su versión para ordenador como en su versión para dispositivos móviles.

En tercer lugar hemos aplicado las categorías analíticas que habíamos establecido con carácter general, a nuestro caso de estudio. Con esto hemos realizado un análisis pormenorizado en base a esas categorías y hemos elaborado una serie de análisis gráficos volumétricos. Estos análisis tridimensionales nos han servido para aplicarlos posteriormente al terreno físico impreso mediante la Realidad Aumentada.

El siguiente paso fue establecer una serie de marcadores a los que hemos asociado la información volumétrica del análisis utilizando como base la topografía conseguida mediante la impresión 3d. En este proceso se desarrolla un proceso de ensayo error hasta establecer los análisis más visuales y convenientes para ser relacionados con el programa de Realidad Aumentada y ser visualizados desde el dispositivo móvil. De este modo podríamos utilizarlo para exposiciones, muestras o labor comercial como herramienta de persuasión para el cliente al cual tenemos que mostrar el proyecto.

5.2 - LA IMPRESORA 3D



En este caso el modelo de impresora de la que disponemos en la sección de la EGA para trabajar es la "UPBOX", un modelo de impresora 3d de caja cerrada¹.

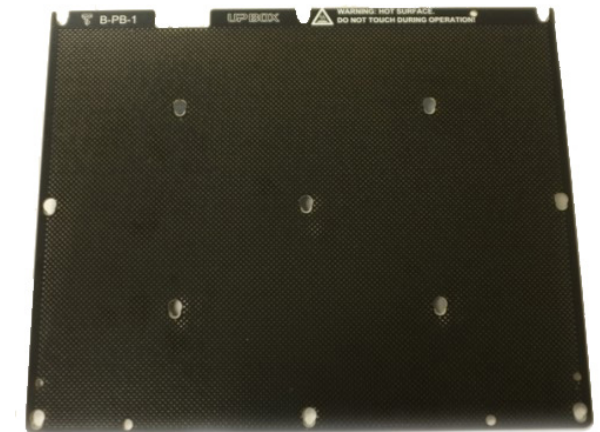
Su software de apoyo es muy intuitivo y moderno y en él se permite realizar una serie de modificaciones muy variadas como escalar la pieza, revisar sus caras, definir el tipo de relleno más o menos compacto de la pieza, calidad de la impresión, velocidad, altura de capa... Todo esto nos permite tener un control sobre la pieza a extraer, pero también tendremos un control básico sobre las temperaturas tanto de la cama sobre la que se imprimirá la pieza como del extrusor de material, que deberán mantenerse en una temperatura estable y continua para que la impresión no nos dé problemas.

La calibración tanto del nivelado de la cama como de la distancia entre el extrusor y la cama se pueden realizar de manera automática, aunque por la experiencia que hemos tenido, no siempre es todo lo preciso que sería deseable.

La experiencia que hemos tenido en el uso de la impresora, ha sido ciertamente compleja. Pese a lo intuitivo de su manejo, es una herramienta muy delicada. Hay que tener mucho cuidado con todos los detalles. Por ejemplo las variaciones de temperatura, afectan mucho a la impresión, ya que si la cama no se mantiene lo suficientemente caliente, se pueden ir despegando zonas del objeto que estamos imprimiendo, por lo que si alguna zona se levanta, comienza a rozar con el extrusor y este se atascará.



Impresora 3d de caja cerrada Upbox, que será la utilizada en el caso práctico para extraer las piezas



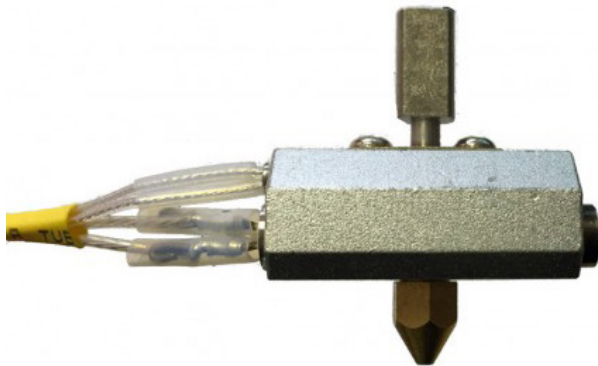
Placa rugosa para la cama caliente sobre la cual se deposita el material cuando la impresora está en funcionamiento

1 Especificaciones técnicas:

- Medidas de la impresora: (A) 485 x (P) 495 x (A) 520mm
- Peso: 20 kg
- Volumen máximo de impresión: (A) 255 x (P) 205 x (A) 205 mm
- Material de impresión: ABS ó PLA
- Grueso de la capa: 0,10/0,15/0,20/0,25/0,30/0,35/0,40 mm
- Sistema operativo: Windows XP, VISTA, 7, 8, Mac
- Precisión: ± 0.05 mm



Cabezal de extrusión de la impresora con la resistencia térmica, el motor de toma de filamento y ventilador para la regulación de la temperatura incorporado.



Conjunto de calentador y extrusor de la impresora, es una de sus partes desmontables para limpieza y mantenimiento

También podemos destacar los problemas que puede llegar a dar la impresión si alguna de las caras tiene algún tipo de error o todo el volumen no cierra correctamente. De hecho la impresión de un terreno topográfico al contar con una gran cantidad de caras, complejiza sobremanera todo el proceso de impresión y hace más factible la existencia de errores en su generación.

Hemos tenido numerosos problemas en el proceso de impresión 3d de los cuales no obstante hemos aprendido algunos aspectos muy útiles de cara a futuros usos. Gestiones como la limpieza de un cabezal de extrusión, desatascar el engranaje que capta el material o desatascar el conducto de fusión del material, han sido labores cotidianas en nuestra experiencia con la impresora.

En definitiva una impresora 3d es un elemento muy delicado con numerosos componentes de los cuales hay que tener un exquisito cuidado cada vez que sea utilizada y que un uso recurrente de la misma puede favorecer que las características de la impresora se mantengan estables y dé menos problemas que una impresora con periodos de desuso prolongados.

5.3 - PROCESO DE MODELADO A IMPRESIÓN 3D

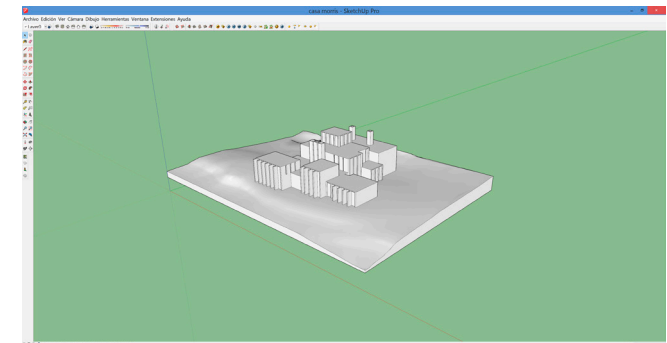


El programa de modelado tridimensional que hemos utilizado para obtener el modelo a imprimir es "Sketchup", de la compañía "Trimble". Es un programa comúnmente conocido y con un funcionamiento muy intuitivo con el que hemos creado la pieza a partir de los planos extraídos de la tesis de Galván (2012, p.426). Escogemos Sketchup por su sencillez de uso y gran capacidad de edición del objeto virtual y su amplia compatibilidad con exportaciones a cualquier formato necesario. Además de haber sido el programa más utilizado por el autor a lo largo de su experiencia universitaria.

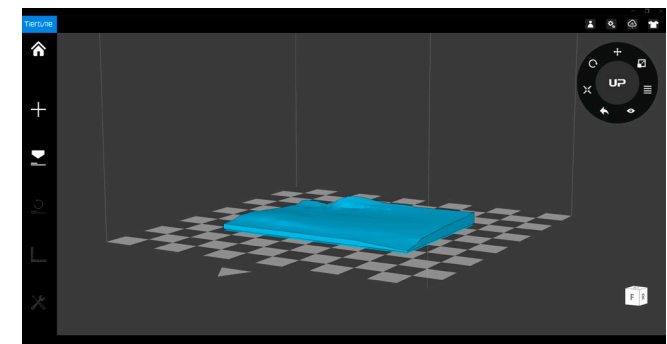
Una vez tenemos el modelo 3d deseado, lo exportamos al formato STL¹, que será el formato en el cual podremos importar los modelos en el software de la Upbox. El siguiente paso será importar el archivo STL en el programa, lo cual nos volcará el modelo en el espacio de trabajo del software y podremos visualizarlo inserto en el cubo virtual que es el cubo capaz de impresión.

A partir de ahí el siguiente paso será revisar la geometría para evaluar que no tengamos ningún error que nos impida llevar a cabo la impresión. Cuando cargamos el modelo, el programa nos muestra en azul las caras correctas y en rojo las caras que se encuentran invertidas o tienen algún tipo de problema. Para tratar de solucionarlo existe un comando en el software llamado "Fix errors" que nos corrige esos posibles errores. Una vez ejecutado, si revisamos el modelo y siguen apareciendo caras en rojo, debemos hacer un feedback con el modelo 3d original para comprobar por que motivo nos sigue dando error en el software de impresión. En cuanto a la impresora, la preparación que llevamos a cabo es la siguiente:

- Seleccionamos la placa que pondremos en la base en función de la rugosidad que requerimos y la colocamos con cuidado de que encaje a la perfección.
- Aplicamos sobre esta base una imprimación que favorezca el agarre entre el material fundido y la base.

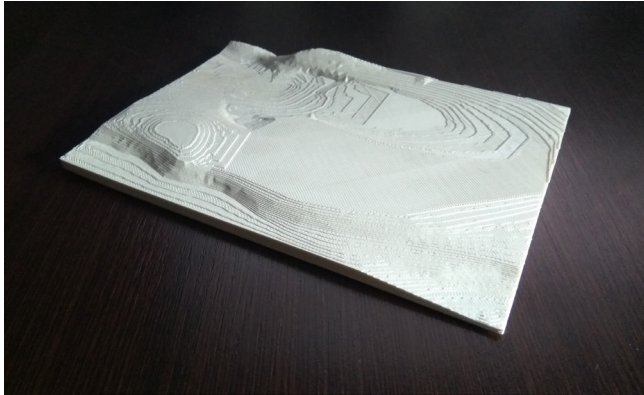


Modelado tridimensional mediante el software "Sketchup" del terreno y la casa Morris de Louis Kahn



Modelo en formato STL cargado en el software "UPStudio" perteneciente a la impresora Upbox con la que hemos trabajado

¹ Formato STL: Es el formato de dibujo 3d soportado por el software de la impresora 3d



Terreno base de la casa Morris impreso físicamente mediante la impresora Upbox con la cual hemos trabajado

- Una vez colocada la base, procedemos a extruir material, para comprobar que el cabezal no esté obstruido y que el plástico fundido sale con normalidad.
- El siguiente paso sería precalentar la base, para que de este modo alcance la temperatura necesaria (unos 90-100º) para que el material al depositarse no se levante respecto a la base.
- Cerramos toda la caja y procedemos a ejecutar la impresión con normalidad.
- Es importante no abrir la caja cerrada que compone la impresora en ningún momento para evitar que las corrientes de aire alteren la temperatura constante que mantiene la caja estanca y frustre nuestra impresión.

5.4 - REALIDAD AUMENTADA



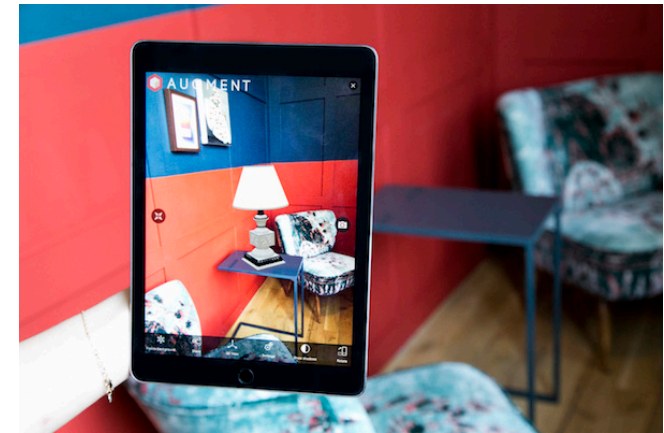
5.4.1 - SELECCIÓN DEL PROGRAMA

Una vez obtenidas las piezas tridimensionales deseadas en formato físico gracias a nuestra impresora 3d. Estas piezas van a ser la base sobre la cual proyectemos la Realidad Aumentada. En este caso práctico hemos elegido la topografía como base física sobre la que irá surgiendo virtualmente la casa y los distintos niveles de análisis de la misma. Para conseguirlo, procedemos a seleccionar el programa de realidad aumentada con el que trabajaremos para llevar a cabo nuestro caso práctico.

En primer lugar probamos una de las aplicaciones más populares, "Augment", que permite cargar modelos virtuales en su galería de modelos y visualizarlos mediante marcadores a través de un dispositivo móvil (smartphone o tablet). Su funcionamiento es muy intuitivo y sencillo, con lo que se presentó como una interesante opción. Pero la descartamos por la limitación de uso y editabilidad de su versión no comercial.

Después probamos otra aplicación muy popular denominada "AR-media". Esta aplicación tiene una peculiaridad respecto a la anterior que habíamos probado y es que nos permite manipular y montar nuestra escena directamente desde "Sketchup" mediante un plugin. Con ella podemos asociar distintos elementos a una serie de marcadores predefinidos por el propio programa o diseñados por nosotros reuniendo una serie de condiciones básicas. También se planteó como una opción viable para realizar la experiencia. Pero tuvimos que descartarla ya que no posee versión móvil en la que volcar las escenas ejecutadas.

Por último; y tras rastrear las distintas opciones que nos ofrecía el ámbito de la Realidad aumentada; dimos con una aplicación denominada "Aumentaty Author", una aplicación con una crítica muy positiva y cuyo funcionamiento se adaptaba muy bien a los objetivos iniciales que nos habíamos marcado para el desarrollo del caso práctico. Esta aplicación posee tanto la versión del programa para ordenador como la versión para dispositivos móviles. Acabó siendo la elegida por su capacidad de personalización de la escena.



Aplicación Augment aplicada a dispositivos móviles



Aplicación AR Media con marcadores predeterminados para captar modelos extraídos desde Sketchup



Tutorial en vídeo acerca del funcionamiento de la aplicación Aumentaty Author

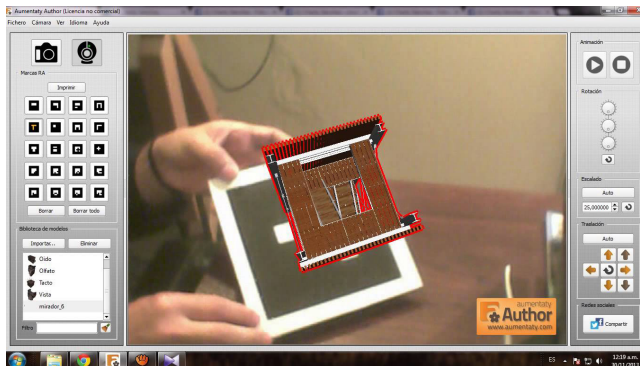


Imagen de la interfaz de Aumentaty Author en versión para ordenador

5.4.2 - AUMENTATY AUTHOR

Es el programa de Realidad Aumentada seleccionado para llevar a cabo nuestro caso práctico debido a que permite mover, escalar y rotar el modelo con el fin de posicionarlo en el punto que nosotros creamos conveniente respecto del eje referencia que nos brinda el marcador. Esto supone que, cuando dispongamos de varios marcadores con distinta información en cada uno, la información no se cruce y sea fácilmente interpretable. Además nos permite tomar la escena con las modificaciones oportunas, guardarla y abrirla en un dispositivo móvil para de este modo hacer la experiencia mas interactiva.

El programa posee una interfaz muy sencilla en la cual tendremos en una banda dos iconos (uno para cargar una imagen de fondo y otro para cargar una señal de vídeo), una selección de marcadores predefinidos y un display donde cargaremos los modelos 3d junto con otros ya preexistentes. A estos marcadores que nos facilita el programa podemos asociar los distintos elementos tridimensionales que cargaremos en la biblioteca de modelos. En la otra banda contaremos con las herramientas de modificación del modelo, con posibilidad de escalado, rotación en cualquiera de los 3 ejes y movilidad del modelo para colocar el objeto en la posición exacta respecto de la posición del marcador.

Una vez generada la escena deseada y comprobada desde todos los ángulos, la guardaremos en formato móvil para poderla abrir desde la App de Aumentaty en nuestro smartphone. Se selecciona y carga la escena y de este modo cuando pasemos con nuestro dispositivo móvil por el marcador nos aparecerá el modelo tridimensional asociado del mismo modo que nosotros hemos configurado en la escena.

5.5 - ANÁLISIS CASA MORRIS

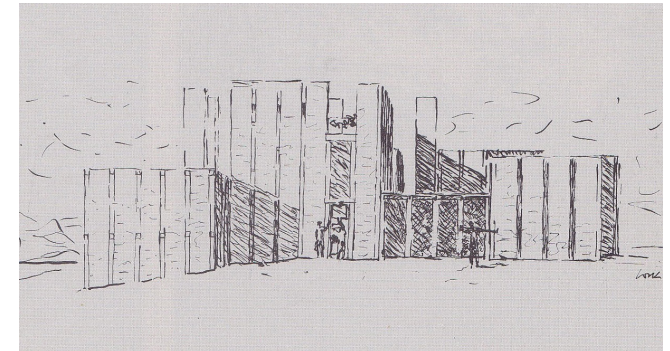


La casa Morris¹ es un ejemplo de la arquitectura no construida de Louis I. Kahn. Esta casa tuvo varias versiones, en concreto hasta 3 antes de la definitiva. En todas ellas iba realizando modificaciones hasta llegar a la versión culmen que será la que desarrollaremos más ampliamente y en la que trabajó entre 1957 y 1958 aproximadamente. La documentación original con la que se cuenta sobre el proyecto es fundamentalmente una maqueta, la cual ha ayudado de manera capital en la restitución de la versión definitiva de la casa. Lo que habla nuevamente de la importancia que una maqueta puede poseer en el análisis de la arquitectura.

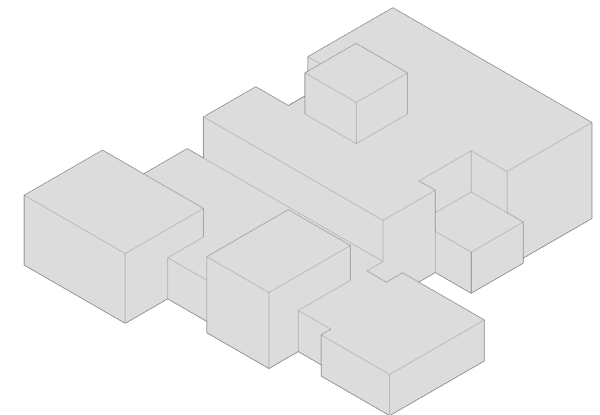
5.5.1 - FORMA

En cuanto a la forma y la composición volumétrica de la casa, podría decirse que el juego de volúmenes existente, le confiere a la casa un aspecto un tanto abstracto respecto del entorno circundante, se compone por volúmenes cúbicos de distintos tamaños tanto en altura como en superficie en función de la jerarquía del espacio al que representan, confiriendo de este modo a su volumetría un aspecto aparentemente desordenado, que simula no tener un patrón predefinido de crecimiento.

Por otro lado esta composición exterior no desvela en nada la funcionalidad interna de la casa, ya que aparenta ser una suma de volúmenes sin un patrón claro de composición. Podemos destacar la gran similitud con el proyecto de Frank Lloyd Wright en Tulsa, Oklahoma, la Richard Lloyd Jones House, como refleja en su tesis (Galván, 2012, p.425). La similitud formal entre ambos proyectos es palpable con un juego volumétrico muy similar, salvo por el hecho de que el proyecto de Wright posee una envolvente más vidriada.

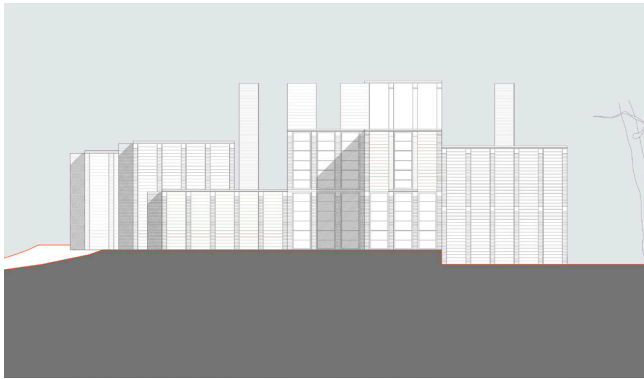


Boceto de la casa Morris realizado por Louis Kahn del alzado del acceso principal a la casa



Esquema analítico sobre la volumetría de la casa Morris, con volúmenes puros cúbicos que se van uniendo y componiendo el edificio

¹ Casa Morris: Información extraída de la tesis doctoral de Noelia Galván Desvaux, "Voluntad por existir: las viviendas no construidas de Louis I. Kahn" en el año 2012.



Alzado norte tomado de la tesis de Galván (2012) en el que podemos apreciar el juego de aparejos que Louis I. Kahn quería aportar al edificio para configurar su envolvente

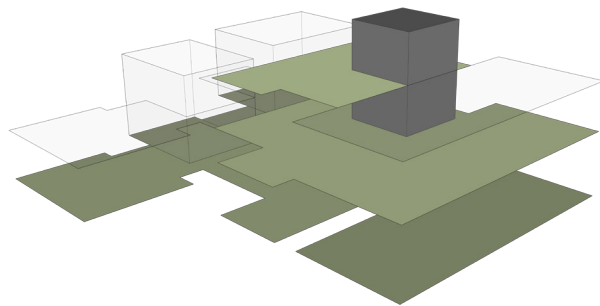
5.5.2 - ENVOLVENTE

En cuanto a la composición en alzado del proyecto, Kahn juega con el uso de distintos aparejos, de mayor y menos espesor, para conseguir un efecto de texturas variable que aporta pequeños matices en la lectura del mismo. Además intercala estos paños de aparejo con paños de vidrio, jugando con el lleno y el vacío, la opacidad y la transparencia, lo pesado y lo liviano. Aporta un ritmo compositivo a todo el alzado que pese a los juegos volumétricos de entrantes y salientes desde una virtual línea de fachada continua inexistente, aportan unicidad a todo el alzado de conjunto. Su composición en alzado con elementos claramente verticales que contrastan con la horizontalidad (por la baja altura) del edificio, le aportan un interesante contrapunto al conjunto según la trama estructural.

5.5.3 - FUNCIÓN

Destaca la confrontación entre la idea inicial de Kahn de generar estancias individuales e independientes de sus primeras versiones de la casa y una idea de espacio fluido del que las estancias fuesen siendo partícipes. En su versión definitiva de la casa Kahn acaba aunando estos dos conceptos en origen tan aparentemente antagónicos.

Para poner estos dos conceptos en relación y consonancia, Kahn acudirá a una idea forjada por Adolf Loos, el Raumplan. Este concepto se basa en la idea de que cada estancia tiene una jerarquía distinta; no es lo mismo un dormitorio que un salón principal; por lo que el sistema que se emplea para reflejar esa jerarquía es el uso de la tercera dimensión de la arquitectura, es decir, la altura. La arquitectura históricamente ha venido definida por el plano y sus dos dimensiones de anchura y profundidad, pero desde la introducción de este concepto, el juego volumétrico apoyado en la altura adquiere un papel muy atractivo y confiere a los espacios un nuevo matiz.



Esquema volumétrico de los distintos planos en los que se articula la casa con sus distintos paquetes funcionales en torno al núcleo distributivo de la escalera

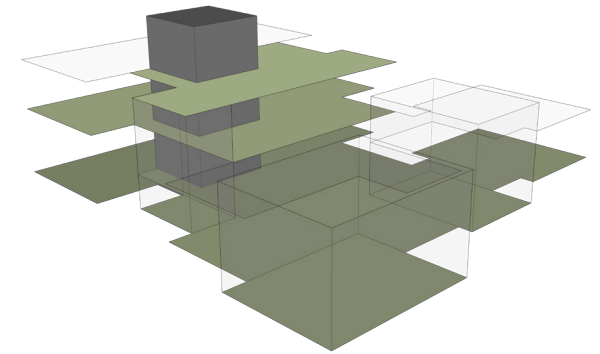


En cuanto al modo de componer la suma de espacios, Kahn se basa en una política de composición según la arquitectura aditiva, buscando alejarse del concepto de casa como caja cerrada compartimentada típico de un modelo de vivienda tradicional y prioriza la creación y composición de cada estancia, supeditando el aspecto exterior a la suma de esas unidades funcionales, al contrario del modo tradicional habitual que se centra en buscar una imagen exterior e ir encajando como en un tetris las piezas funcionales requeridas en ese espacio contenedor.

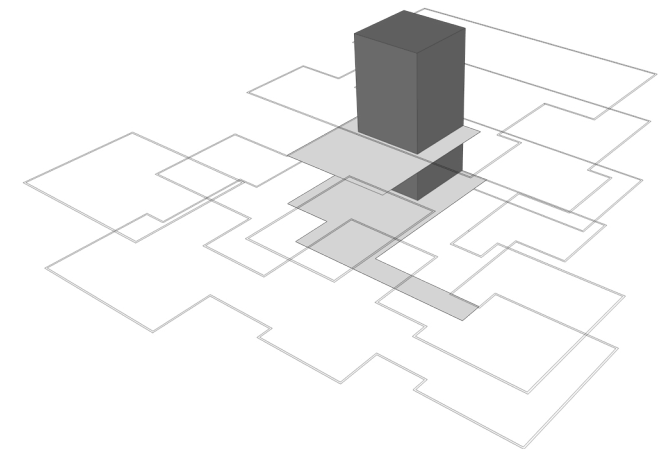
5.5.4 - CIRCULACIÓN

La organización de la casa se lleva a cabo mediante la zonificación de espacios. El núcleo principal sobre el que se articula el resto de la vivienda es el conformado por los dormitorios y el garaje. Este núcleo, que por otro lado, en el desarrollo del proceso creativo será el que mas rigidez adquiera respecto al resto de las estancias.

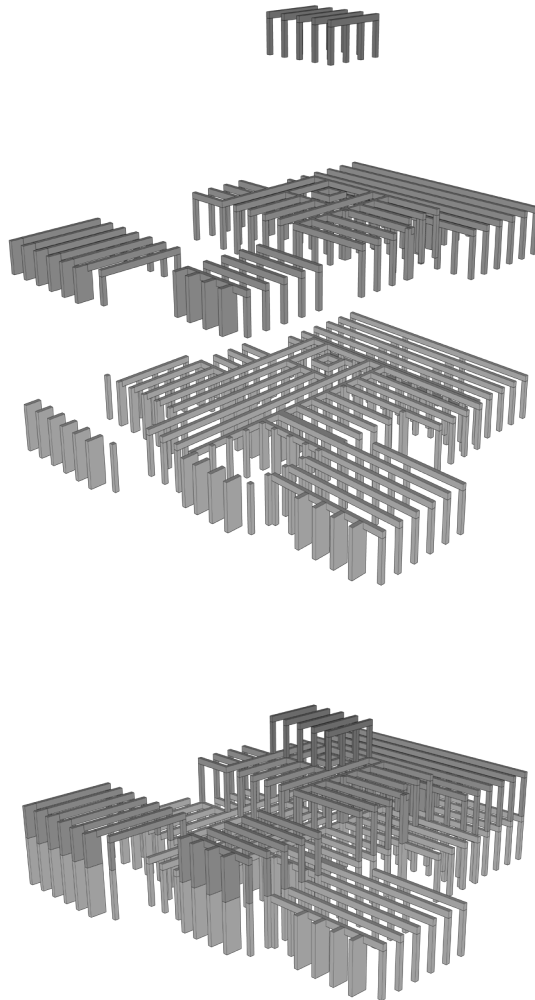
El principal problema que adquieren las construcciones en las cuales cada estancia acaba teniendo una altura distinta, es sobre todo el acceso a los distintos planos que se conforman como consecuencia de ese juego de alturas. Kahn en su casa Morris resolverá este problema mediante una escalera central de 4 tramos que irá absorbiendo esas diferencias de cota para desembarcar en todas las estancias de la casa. Además el uso de esta estrategia centralizada minimiza la pérdida de espacio en pasillos y corredores, reduciendo la necesidad de espacios servidores. Esta zona tiene una importancia que se remarca mediante el habilidoso uso de los pavimentos, con el cual marca este punto como una zona relevante y distinta de la casa.



Esquema volumétrico de los distintos planos en los que se articula la casa con sus distintos paquetes funcionales en torno al núcleo distributivo de la escalera



Esquema volumétrico con las zonas de circulación en gris junto con el núcleo de comunicación vertical. Denota la escasa pérdida en corredores en la distribución de la casa



Esquema volumétrico de la estructura diferenciando los colores con distintos tonos de gris para diferenciar las volumetrías y los sistemas porticados en los que se apoya

Desde ese núcleo central se desarrolla la planta, siendo su mayor ocupación en planta baja y disminuyéndose a medida que ascendemos en altura. Principalmente la casa se desarrolla en dos estratos, la planta baja y la superior que se encuentra subiendo 3 tramos de la escalera, en la cual se sitúa el paquete compacto de dormitorios; que como ya hemos comentado antes es la parte donde menos libertad tiene el programa; por encima de estos dos niveles encontramos una zona común con salida a terraza y el nivel de culminación donde la escalera finaliza con un baldaquino y con salida a la última gran terraza.

5.5.5 - ESTRUCTURA

De este modo en la versión definitiva de la casa Morris la trama inicial del proyecto que se basaba en muros portantes según una malla ordenada 1-4-1 (en pies) dejó paso a una relación entre estructura y cerramiento donde la primera se integraba en la segunda. De este modo al llevar la parte estructural a la envolvente, se libera en mayor grado el espacio interno, conformando un interior más fluido y orgánico solo jerarquizado por el uso de la altura en cada sala. Esta decisión de llevar los temas portantes a la envolvente implica que la estética exterior quede fuertemente marcada y supeditada a ese sistema estructural según la composición anteriormente mencionada.

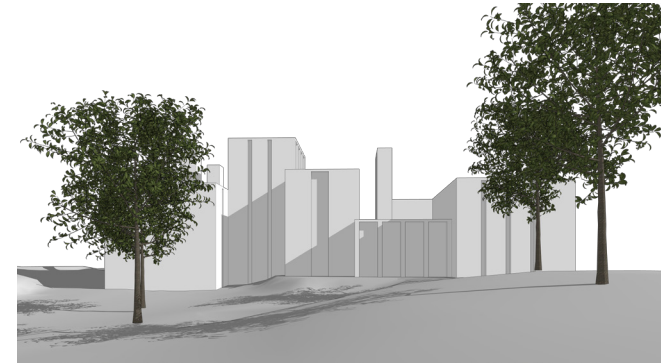
Esta construcción orgánica sin una lógica geométrica predefinida de crecimiento; que se va conformando por volúmenes pseudoindependientes; provoca un aspecto exterior según el cual no se puede buscar un patrón de generación volumétrico. Solo se puede intuir una especie de jerarquía de los espacios según el tamaño de las piezas ya que aquellos espacios con una mayor relevancia en el interior adquieren altura; según los postulados expuestos anteriormente; y esa altura se refleja en el exterior del edificio. Pero este sistema no nos permite la capacidad de intuir el juego funcional que tendremos en los interiores de la casa Morris.



5.5.6 - EMPLAZAMIENTO

En cuanto al entorno de la casa Morris y su relación con el mismo, podemos destacar el desnivel que posee el terreno y que genera una diferencia de cota entre los distintos puntos de contacto de la casa con el terreno, problema hábilmente resuelto mediante el uso de los ya mencionados niveles en los que va componiendo de manera escalonada los forjados de la casa. En su relación formal con el entorno, destaca su aspecto abstracto que contrasta con el entorno paisajístico natural que lo hubiese rodeado.

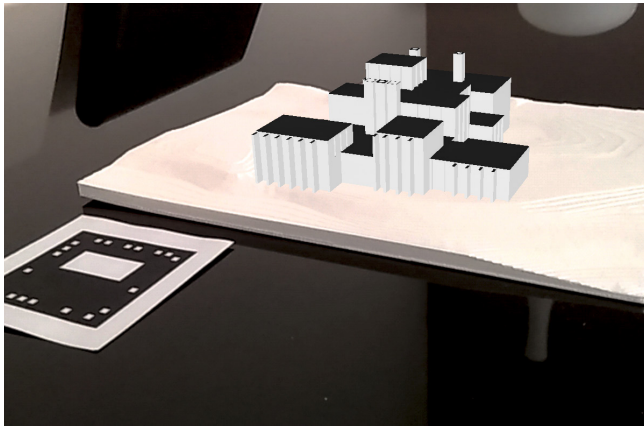
El acceso se realiza en el nivel de la planta baja de la edificación, un cuarto de piso más arriba del acceso rodado en el cual se sitúa la zona de garaje y almacén. De este modo deja en una cota inferior ese acceso servido rodado y el acceso peatonal se realiza en el nivel superior aprovechando el desnivel del terreno. Este acceso se configura en el vestíbulo contiguo a la escalera que organiza el edificio y dejando a su derecha la zona de día y a su izquierda la zona de noche.



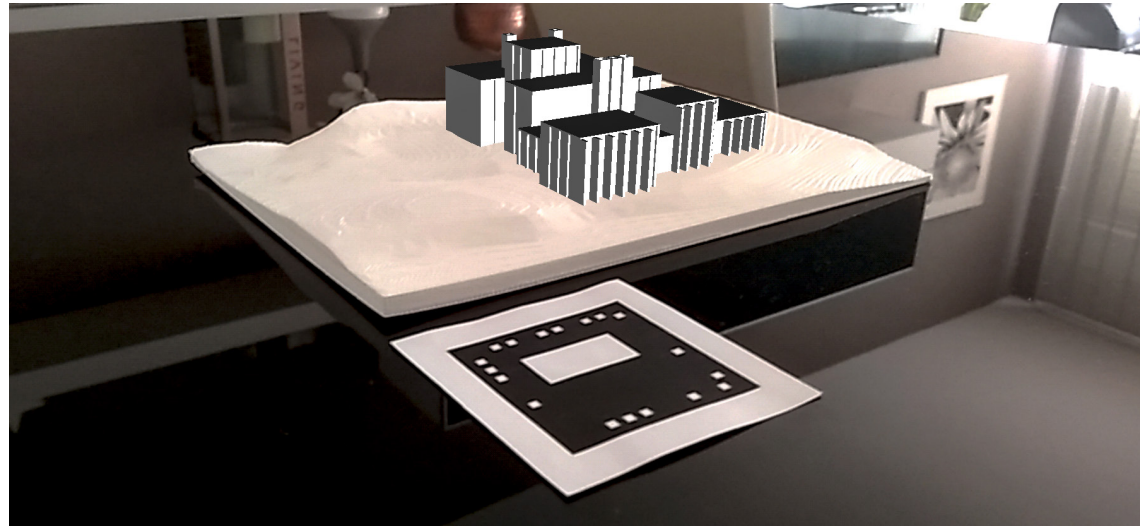
Vista de la entrada principal a la casa con el entorno paisajístico que lo acompaña y envuelve y con el cual entra en contraste



5.6 - APLICACIÓN PRÁCTICA DEL ANÁLISIS AL MODELO

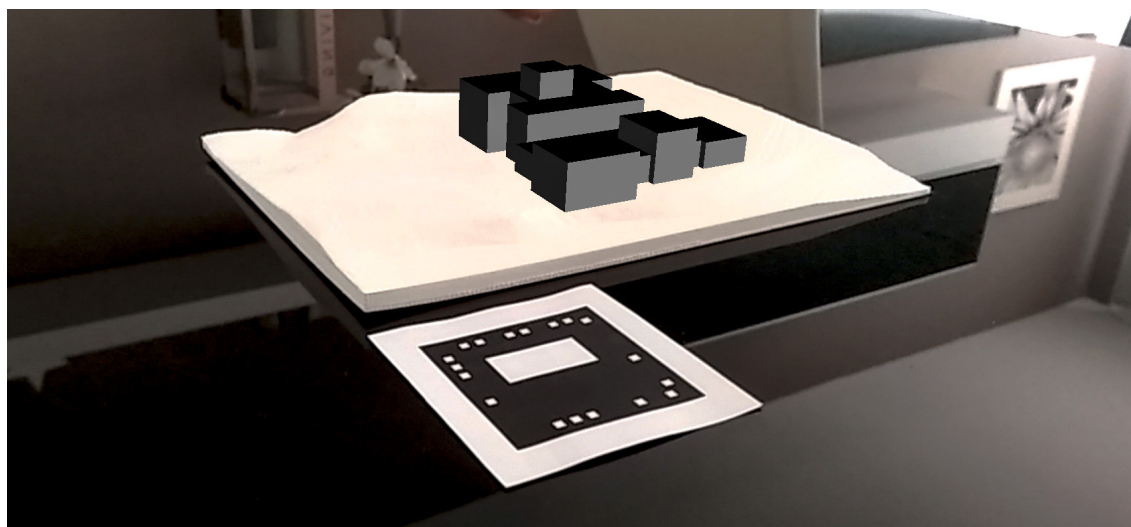


Visión opuesta del modelo original respecto de la imagen principal obtenida mediante Realidad Aumentada con "Aumentaty Author"



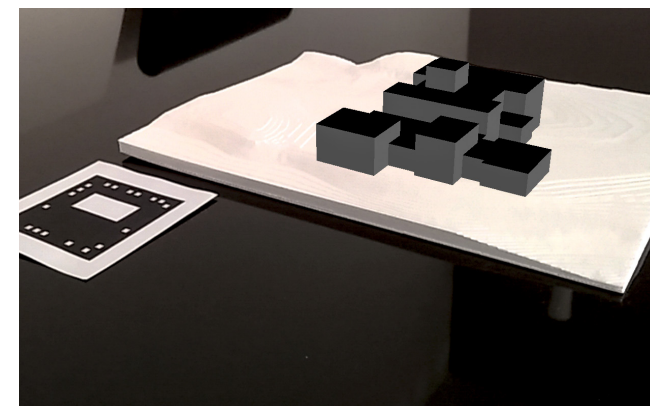
Modelo original en 3d de la casa Morris aplicado al terreno impreso mediante Realidad Aumentada con Aumentathy Author. En él podemos observar la implantación del volumen general de la casa respecto del terreno físico obtenido mediante la impresora 3D. En el se observan detalles como los distintos puntos de contacto de la casa con el terreno y la distinta relación el entorno. Apreciamos también el juego que la luz genera con los entrantes y salientes con los cuales Louis I. Kahn configura su envolvente y el juego de alturas de sus estancias.

Asimismo podemos destacar el contraste de la materialidad del edificio y su marcada geometría con la naturalidad de las líneas topográficas del terreno que lo envuelve. Además, la marcada pauta de elementos verticales en la envolvente del edificio contrasta con su escasa elevación y su disposición primordial en planta baja, aportando así un interesante contrapunto.

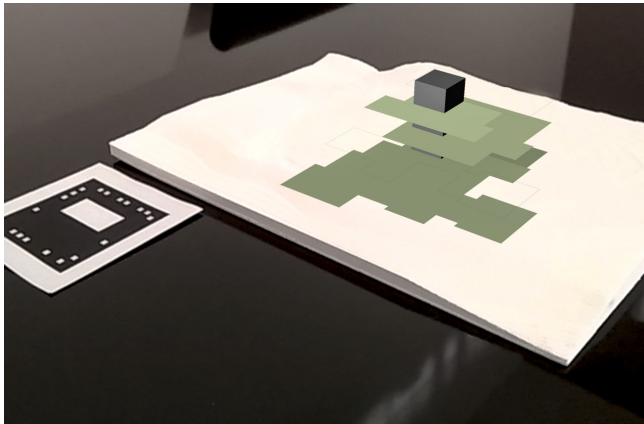


Esquema volumétrico de la suma de cubos que conforman el apartado referente a la "Forma" de nuestro análisis configurando un aspecto exterior de crecimiento orgánico con volúmenes puros que definen su altura en función del uso de la sala con la que se corresponde en su interior.

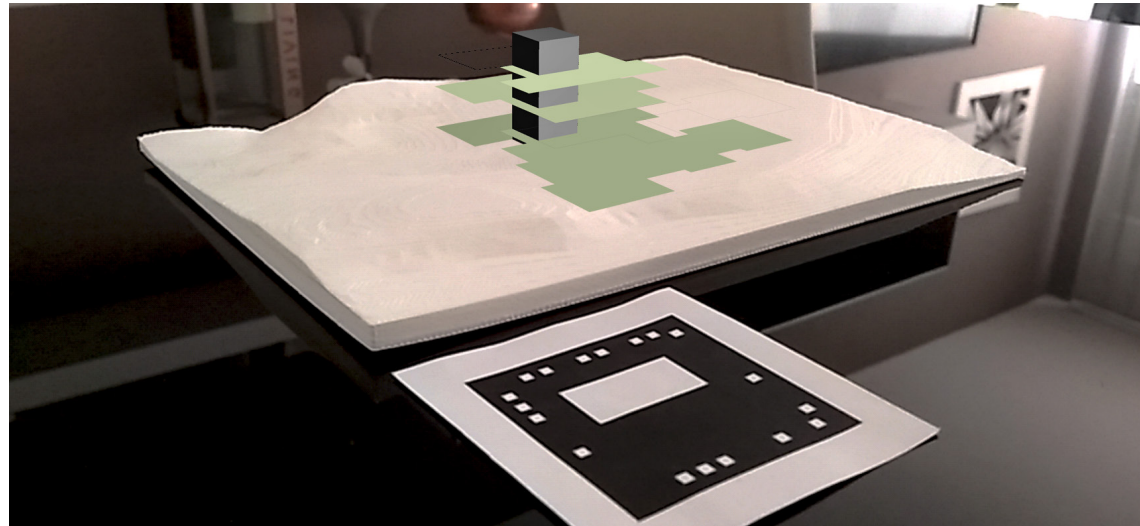
Este juego volumétrico que gestiona cada sala con una altura en función de su relevancia configura la forma exterior que no obstante tiene un nexo de unión en la escalera principal a la que se abrazan el resto de volúmenes y que destaca como punto de mayor elevación de todo el conjunto destacando su importancia compositiva y funcional como se aprecia en el esquema.



Visión opuesta del esquema sobre la forma respecto de la imagen principal obtenida mediante Realidad Aumentada con "Aumentaty Author"

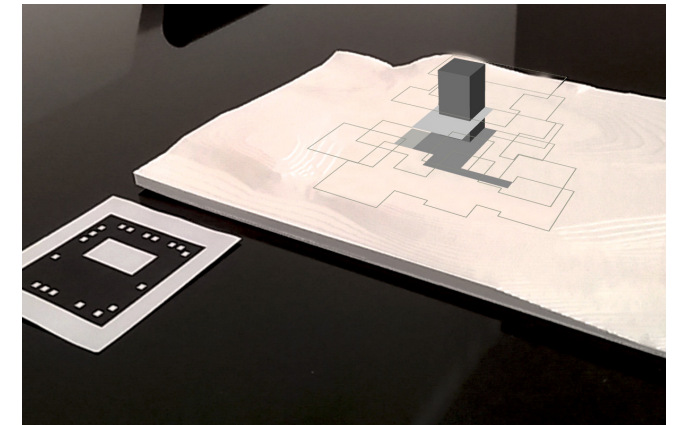
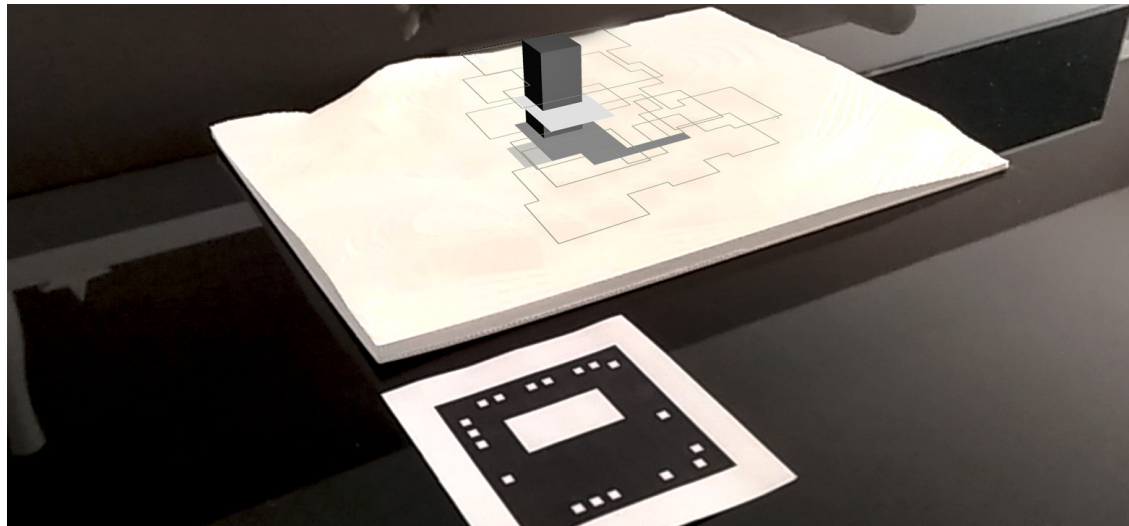


Visión opuesta del esquema funcional respecto de la imagen principal obtenida mediante Realidad Aumentada con "Aumentaty Author"



Esquema volumétrico referente a la "Función" donde se muestran los distintos planos en los cuales se configura y articula la casa respecto del núcleo de comunicación. En él podemos observar el nivel trasero en el que se sitúan los garajes y el almacén en la cota del acceso rodado, toda la planta baja a un cuarto de nivel por encima del acceso rodado y los dos niveles superiores con las zonas de noche y las respectivas terrazas.

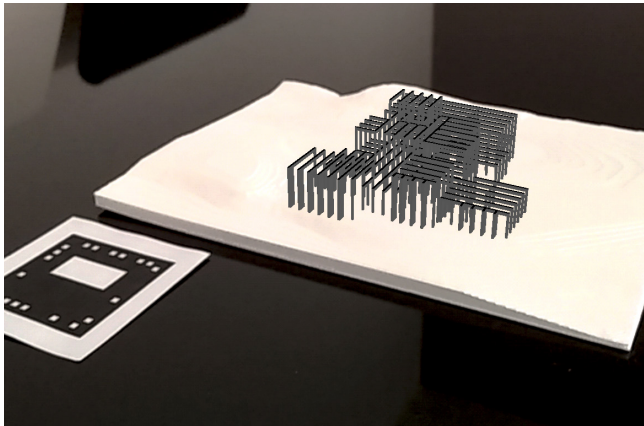
Como podemos apreciar la mayoría del programa funcional de la casa se desarrolla en la planta baja a un lado del núcleo de comunicación y en las plantas superiores las funciones de la zona de noche se esponjan hacia el lado opuesto, permitiendo las elevación en altura de determinadas salas de la zona de día. En el esquema se observa perfectamente que la gran mayoría de la superficie de la planta baja tiene libertad absoluta para su crecimiento en altura, mientras que las funciones situadas en el lado opuesto se encuentran más supeditadas a la función de los pisos superiores.



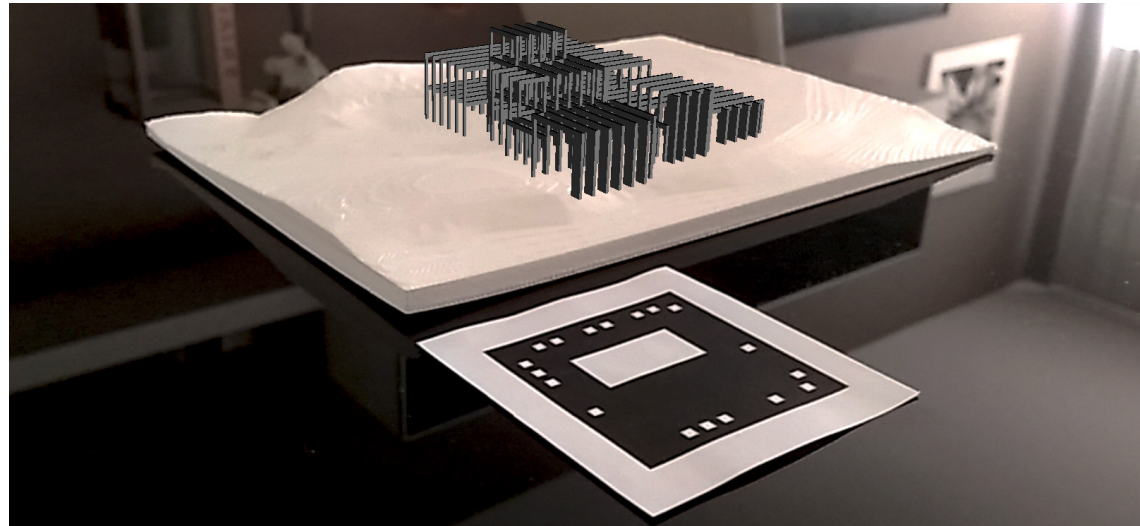
Visión opuesta del esquema de circulación respecto de la imagen principal obtenida mediante Realidad Aumentada con "Aumentaty Author"

Esquema volumétrico donde se muestra la "Circulación", en él podemos observar la escasez de metros cuadrados destinados a la circulación respecto a la superficie total de la casa. Las funciones se organizan dejando un espacio muy fluido, donde el espacio destinado puramente a circulación se reduce al volumen gris oscuro del esquema, que se destina a la comunicación vertical y al vestíbulo principal de la planta baja y al de la planta primera que da acceso al resto de estancias, además de un pequeño corredor en la parte de la zona de día. Además el acceso a la vivienda se hace con un pequeño recibidor junto al vestíbulo principal que en el esquema podemos apreciar en un gris más tenue.

En resumen se aprecia en el esquema volumétrico que las circulaciones de la casa son fluidas reduciendo la pérdida de metros cuadrados destinados a espacios de circulación. Pese a ello cabe destacar que el volumen de más altura y predominante de la casa que se remata con un baldaquino es el de la circulación vertical, la escalera, que va a ser el núcleo más importante sobre el que se articula toda la distribución.



Visión opuesta del esquema de la estructura respecto de la imagen principal obtenida mediante Realidad Aumentada con "Aumentaty Author"



Esquema volumétrico referente a la "Estructura" en el que se observa el sistema porticado que sigue la casa y como ese sistema se repite en todas las plantas del conjunto. Destaca la diferencia de altura de cada paquete funcional, pero que del mismo modo siguiendo estrictamente la malla estructural en la que se sustenta, consigue resolver con facilidad toda la estructura.

Del mismo modo podemos observar como ese mismo sistema porticado, lejos de entorpecer la configuración de la envolvente, sirve de apoyo para la misma conformando la imagen externa.



6 - CONCLUSIONES



6 - CONCLUSIONES GENERALES

Las nuevas tecnologías de impresión 3d y Realidad aumentada son un pequeño embrión en constante crecimiento, que se alimenta de nuestras ansias de desarrollo y que supone una herramienta innegable para el trabajo del arquitecto. En este trabajo, nos sumamos a esa ola de tecnología que nos brinda posibilidades hasta ahora desconocidas para la profesión y para la evolución de las tareas que nos ocupan.

Hemos podido comprobar como estas herramientas han aportado grandes avances en numerosos campos y sobre todo en el ámbito que nos atañe, el de la arquitectura. Se ha creado con ellas un nicho de evolución en los modos de entender y de mostrar la arquitectura del mismo modo que los software de dibujo asistido abrieron una nueva etapa en nuestro ámbito trascendiendo del papel a la pantalla y facilitando nuestra tarea. En este caso transcendemos el papel y la pantalla y pasamos al plano físico.

Con la ayuda de estas nuevas tecnologías por un lado hemos visto que se simplifican las tareas de creación y análisis de modelos gracias a la impresión 3D y por otro lado se hace mas sencilla la tarea de mostrar proyectos y sus pormenores apoyándonos en la Realidad Aumentada como hemos podido ver en nuestro caso práctico. En ambos apartados se reduce el trabajo manual que el arquitecto debe realizar para llevar a cabo su labor e informatiza todo el proceso sobremanera. Dentro del Análisis hemos podido ver que se configura como una herramienta de apoyo muy útil aportando una tercera dimensión a los dibujos analíticos comúnmente utilizados.

Debemos entender esta intrusión de la tecnología como una oportunidad de desarrollo y no como una amenaza de los principios rectores del Análisis, que son completamente compatibles con este desarrollo. Así conseguimos mantener la base del Análisis inalterable pero del mismo modo renovamos su modo de expresarse.

En conjunto, el uso de los tres ámbitos estudiados, se presenta como un nuevo desarrollo arquitectónico que nos aporta funcionalidad y amplía las posibilidades de crecimiento y explotación de nuestras ideas, reduciendo los límites existentes de los métodos tradicionales y aportando esa tercera dimensión a nuestro trabajo. La visión espacial que se reservaba a unos pocos, por fin al alcance de todos.



7 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



7 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aldama, Z (2017) *Un planeta impreso en 3D*. Obtenido el 8 de Septiembre de 2017 de: https://elpais.com/tecnologia/2017/04/12/actualidad/1491997087_430446.html

Artigas, M (2016). *¿Que tipos de impresión 3D existen?*. Obtenido el 27 de Febrero de 2017 de: <https://www.openfuture.org/es/new/que-tipos-de-impresion-3d-existen>

Bejerano, P (2013). *RepRap, impresoras 3D lowcost que se imprimen a sí mismas*. Obtenido el 18 de Febrero de 2017 de: <https://blogthinkbig.com/reprap-impresoras-3d-low-cost-que-se-imprimen-a-si-mismas>

Bravo, D (2012) *Iteración creativa. El uso de la maqueta como herramienta de proyecto en OMA*. MPAA 2011/2012

Carazo, E; Galván, N (2014) *Aprendiendo con maquetas. Pequeñas maquetas para el análisis de arquitectura*. revista EGA. dou: 10.4995/ega.2014.1828

Ching, F (2007) *Arquitectura. Forma, espacio y orden*. (3rd ed.) Nueva York

Crespo, S (2017) *La anamorfosis en la realidad aumentada*. Valladolid, n.p.

de Frutos, A (2014) *Descubre la historia del Muro de Berlín gracias a TimeTraveler*. Obtenido el 20 d Agosto de 2017 de: <https://www.androidsis.com/timetraveler-muro-berlin/>

De Fusco, R (1977) *La historiografía en la Facultad de Arquitectura*. SUMMARIOS, AÑO 1, Nª5, BUENOS AIRES, FEBRERO/MARZO 1977. 15-19

Galván, N (2012) *Voluntad por existir: las viviendas no construidas de Louis I. Kahn*. Obtenido el 10 de Febrero de 2017 de: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/1883>



Hickey, S (2014). *Chuck Hull: the father of 3D printing who shaped technology*. Obtenido el 15 de Febrero de 2017 de: <https://www.theguardian.com/business/2014/jun/22/chuck-hull-father-3d-printing-shaped-technology>

Impresión 3D de un hábitat de emergencia en menos de media hora. (2015). Obtenido el 15 de Marzo de 2017 de: <http://www.naotechsolutions.com/impresion-3d-de-un-habitat-de-emergencia-en-menos-de-media-hora/>

Jiménez, M (2013) *El mundo en un cuadrado: códigos QR y marcadores*. Obtenido el 30 de Mayo de 2017 de: <http://toyoutome.es/blog/el-mundo-en-un-cuadrado-codigos-qr-y-marcadores-ra/20446>

La arquitectura y la realidad aumentada como nuevos aliados (n.d.) Obtenido el 15 de Agosto de 2017 de: <http://www.imnovation.com/es/construccion/arquitectura-y-realidad-aumentada-nuevos-aliados/#>

Palou, N (2017) *Así funciona el 'shazam del arte'*. Obtenido el 18 de Agosto de 2017 de: https://elpais.com/tecnologia/2017/03/10/actualidad/1489151406_512872.html

Redondo, E.; Sánchez, A.; Fonseca, D. y Navarro, I. (2013) *Enseñanza geolocalizada de los proyectos urbanos. Nuevas estrategias educativas con ayuda de dispositivos móviles. Un estudio de caso de investigación educativa*. Obtenido el 29 de Mayo de 2017 de: Architecture, City and Environment.

Rodríguez, E (2017) *Aplicaciones de la impresión 3D para mejorar la medicina*. Obtenido el 3 de septiembre de 2017 de: <http://omicron.elespanol.com/2017/08/aplicaciones-impresion-3d-medicina/>

Sánchez, C (2016) *El primer restaurante de comida impresa en 3D llega a España: 180€ por falso caviar*. Obtenido el 20 de Junio de 2017 de: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2016-11-05/restaurante-comida-impresion-3d-food-ink_1285299/



Sangrà, A (2013) *La realidad aumentada y su aplicabilidad en el ámbito educativo*. Obtenido el 16 de Agosto de 2017 de: <http://blogs.elpais.com/traspasando-la-linia/2013/07/la-realidad-aumentada-y-su-aplicabilidad-en-el-%C3%A1mbito-educativo.html>

Vazhnov, A (2013). *Impresión 3D. Cómo va a cambiar el mundo*. Editorial Baikal.

Willton-Ely, J (2006) *La maqueta arquitectónica: Barroco inglés*. Obtenido el 18 de Agosto de 2017 de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4022219>

Wotton, H (1624) *Elements of Architecture*. (2nd ed.) ark:/13960/t36121386

Zumthor, P (2010) *Atmósferas*. (1st ed.) Ed. Gustavo Gili. Barcelona



8 - BIBLIOGRAFÍA



IMPRESIÓN 3D

Artigas, M (2016). *¿Que tipos de impresión 3D existen?*. Obtenido el 27 de Febrero de 2017 de: <https://www.openfuture.org/es/new/que-tipos-de-impresion-3d-existen>

Bejerano, P (2013). *RepRap, impresoras 3D lowcost que se imprimen a sí mismas*. Obtenido el 18 de Febrero de 2017 de: <https://blogthinkbig.com/reprap-impresoras-3d-low-cost-que-se-imprimen-a-si-mismas>

Berchon, M.; Luyt B. *La impresión 3D: Guía definitiva para makets, diseñadores, estudiantes, profesionales, artistas y manitas en general*. Ed. Gustavo Gili. 2016

Hickey, S (2014). *Chuck Hull: the father of 3D printing who shaped technology*. Obtenido el 15 de Febrero de 2017 de: <https://www.theguardian.com/business/2014/jun/22/chuck-hull-father-3d-printing-shaped-technology>

Lipson, H.; Kurman, M. *La revolución de la impresión 3D. El presente y el futuro de una máquina que puede crear (casi) cualquier cosa*. Indianapolis. 2013.

Madrid, A. *Tecnología de la impresión 3D. La fábrica del futuro*. Editor Antonio Madrid Vicente. 2016

Floyd, J. *3D Printing. Build your own 3D printer and print your own 3D objects*. Estados Unidos. 2013

Vazhnov, A (2013). *Impresión 3D. Cómo va a cambiar el mundo*. Editorial Baikal.



REALIDAD AUMENTADA

Crespo, S (2017) *La anamorfosis en la realidad aumentada*. Valladolid, n.p.

Jiménez, M (2013) *El mundo en un cuadrado: códigos QR y marcadores*. Obtenido el 30 de Mayo de 2017 de: <http://toyoutome.es/blog/el-mundo-en-un-cuadrado-codigos-qr-y-marcadores-ra/20446>

La arquitectura y la realidad aumentada como nuevos aliados (n.d.) Obtenido el 15 de Agosto de 2017 de: <http://www.imnovation.com/es/construccion/arquitectura-y-realidad-aumentada-nuevos-aliados/#>

Moreno, N. *Realidad aumentada y educación*. Ed. Octaedro. 2016.

Mullen, T. *Realidad aumentada. Crea tus propias aplicaciones*. Ed. Anaya Multimedia. 2012.

Sangrà, A (2013) *La realidad aumentada y su aplicabilidad en el ámbito educativo*. Obtenido el 16 de Agosto de 2017 de: <http://blogs.elpais.com/traspasando-la-linea/2013/07/la-realidad-aumentada-y-su-aplicabilidad-en-el-%C3%A1mbito-educativo.html>

Villalustre, L.; del Moral, M. *Experiencias interactivas con realidad aumentada en las aulas*. Barcelona. 2016.



ANÁLISIS Y MAQUETA

Bravo, D (2012) *Iteración creativa. El uso de la maqueta como herramienta de proyecto en OMA*. MPAA 2011/2012

Carazo, E. *Aprendiendo con maquetas. Pequeñas maquetas para el análisis de arquitectura*. Revista EGA, Nº24. 2014.

Carazo, E; Galván, N (2014) *Aprendiendo con maquetas. Pequeñas maquetas para el análisis de arquitectura*. revista EGA. doi: 10.4995/ega.2014.1828

Ching, F. *Arquitectura. Forma, espacio y orden*. (3rd ed.) Nueva York. 2007.

Galván, N (2012) *Voluntad por existir: las viviendas no construidas de Louis I. Kahn*. Obtenido el 10 de Febrero de 2017 de: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/1883>

Tagliabue, B. *Maqueta o modelo digital. La pervivencia de un sistema*. Revista EGA, Nº17. 2011.

Wotton, H (1624) *Elements of Architecture*. (2nd ed.) ark:/13960/t36121386

