



Universidad de Granada

**Máster Universitario en Gestión y Seguridad Integral en la
Edificación**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Análisis de la integración de la prevención en la construcción de viviendas con impresoras 3D

Granada, Septiembre de 2015

Autor:

Manuel Fernández Ortega

Tutor:

D. Joaquín Manuel Durán Álvarez

Análisis de la integración de la prevención en la construcción de viviendas con impresoras 3D

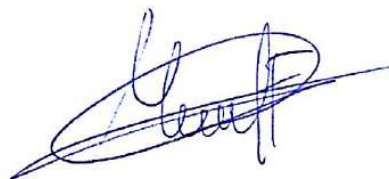
Trabajo Fin de Máster presentado para optar al **Título de Máster en Gestión y Seguridad Integral en Edificación**, en el Itinerario de Profesional, por Manuel Fernández Ortega, siendo el tutor del mismo D. Joaquín Manuel Durán Álvarez.

Vº Bº. del Tutor/a



Fdo. Joaquín M. Durán Álvarez

Alumno/a



Fdo. Manuel Fernández Ortega

Granada, 11 de Septiembre de 2015

MÁSTER UNIVERSITARIO EN GESTIÓN Y SEGURIDAD INTEGRAL EN EDIFICACIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER. ITINERARIO DE PROFESIONAL

CURSO ACADÉMICO 2014-2015

TÍTULO:

ANÁLISIS DE LA INTEGRACIÓN DE LA PREVENCIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS
CON IMPRESORAS EN 3D

AUTOR:

MANUEL FERNÁNDEZ ORTEGA

TUTOR/A ACADÉMICO:

D. Joaquín Manuel Duran Álvarez

RESUMEN:

El sector de la construcción es y seguirá siendo uno de los sectores clave en la economía española, pero por desgracia existe una elevada estadística ligada al mismo en referencia a la siniestralidad, y una importante generación de residuos y de contaminación ambiental, exigiendo un ajuste que consiga reducir la proliferación de estos inconvenientes. Por lo que aprovechando el desarrollo tecnológico que se está logrando, se plantea la hipótesis de la automatización del sistema a través de un sistema de construcción de viviendas con tecnología de impresión en 3D, con la intención de reducir ese porcentaje de accidentes laborales, la influencia del sector sobre el entorno y el medio ambiente, así como el precio de edificación.

PALABRAS CLAVE: Impresión en 3D, Prevención, Riesgos, Siniestralidad, Medio ambiente, Automatización.

ABSTRACT:

The construction sector is and it will continue being one of the key sectors in the Spanish economy, but unfortunately there exists a high statistics tied to the same one in reference to the accidents, and an important generation of residues and pollution, demanding an adjustment that manages to reduce the proliferation of these disadvantages. So taking advantage of the technological development that is being achieved, there appears the hypothesis of the automation of the system across a system of construction of housings with technology of impression in 3D, with the intention of reducing this percentage of injured persons, the influence of the sector on the environment, as well as the price of building.

KEYWORDS: 3D printing, Prevention, Risk, Claims, Environment, Automation.

Pierre Lorent: “La seguridad no se añade, sino que se anticipa. Son preferibles las prevenciones anticipadas y adecuadas a cada caso concreto, que las protecciones añadidas.”

Índice.

	Pág.
Agradecimientos	6
1. Introducción.	8
2. Objetivos.	11
3. Justificación del tema elegido.	13
4. Metodología.	15
5. Introducción a la técnica de Impresión en 3D.	18
5.1. Introducción a la impresión en 3D.	18
5.2. Inicios impresión 3D.	21
5.3. Ventajas e inconvenientes de impresión en 3D.	23
5.4. Impresión de maquetas de edificaciones.	24
5.5. Antecedentes e historia impresión con cemento.	25
6. Análisis de la situación actual.	35
6.1. Análisis de las fases de obra.	43
6.2. Análisis de los riesgos por fase de obra. Método tradicional.	44
7. Análisis de la situación propuesta.	52
7.1. Sistema constructivo.	52
7.2. Análisis de las características del sistema de impresión de viviendas en 3D.	61
7.3. Emisiones de CO ₂ .	73
7.4. Análisis de los riesgos por fase de obra. Método de impresión de viviendas en 3D.	67
8. Resultados.	72
9. Conclusiones.	76
10. Futuras líneas de investigación.	78
11. Bibliografía.	80
i. Índice de tablas.	83
ii. Índice de figuras.	84

Agradecimientos.

Previo al desarrollo del presente Trabajo Fin de Máster me gustaría dedicar unas líneas para expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que han sabido estar a mi lado durante todo este tiempo, porque sin ellas no sería posible haber llegado hasta este punto.

En primer lugar expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor Joaquín Manuel Durán Álvarez, por su dedicación, comprensión, orientación y paciencia, porque sin ello la realización del presente hubiese sido imposible.

Agradecer también a todo el profesorado del Máster de Gestión y Seguridad Integral en la Edificación la formación que me han aportado, ya que gracias a ellos he adquirido unos conocimientos y unas capacidades que me han permitido realizar este Estudio, y que seguro me ayudarán en la vida profesional.

No puedo dejar de mencionar a todos los buenos amigos y amigas que han sabido estar siempre junto a mí, para preocuparse por mí, para comprender todos los malos días que he podido tener, y por supuesto para apoyarme cuando ha sido necesario. No podría mencionarlos a todos, ya que seguramente me dejaría alguno en el camino, así que a todos ellos darle mis agradecimientos.

Agradezco a toda mi familia, los que están aquí y los que, por desgracia, se han ido, su apoyo, pero en especial mencionar a mis padres, Manuel y Mari Trini, y a mi hermano, José Antonio, por ser unos de los pilares de mi vida, por toda la paciencia que han tenido conmigo, y por todo el apoyo que me han sabido dar cuando lo he necesitado.

Por supuesto no podría olvidarme de Marina, esa persona que tanto me ha apoyado en estos cinco años, en los buenos y en los malos momentos, y que ha sabido escucharme y comprenderme siempre que ha sido necesario. Agradecer también a sus padres que me quieran como a un hijo.

En definitiva expresar mi más sincero agradecimiento a todos, y deciros que una parte de este Trabajo es vuestra.

1. Introducción.

1. Introducción.

En tiempos de crisis económica descende el atractivo de adquirir vivienda nueva, primando más el alquiler. Por lo tanto surge la hipótesis de la construcción de viviendas de bajo coste para facilitar el acceso a los niveles de economía que no se pueden permitir adquirir una vivienda tradicional al precio actual. En consecuencia, y aprovechando la reciente evolución de la tecnología y la automatización en el sector industrial que han favorecido la aparición en el mercado de las impresoras en 3D, surge la hipótesis de fabricar unas viviendas íntegramente con esta tecnología de impresión en 3D, que abarate el coste de las mismas.

Sin embargo una de las técnicas más empleadas en la actualidad es la utilización de piezas de gran formato (módulos), realizadas en serie en fábricas, pero la aplicación de este procedimiento hace aumentar el peso de las estructuras, y debido a su mayor dimensión y a su mayor peso, hacen que estas piezas sean ergonómicamente indeseables.

Por lo tanto y gracias a la irrupción de este sistema de impresión de viviendas en 3D se favorece un gran salto innovador, ya que debido a la automatización del sistema se promueve la eficacia del proceso, la disminución de los tiempos de trabajo, el decrecimiento de los accidentes, se reduce potencialmente el uso de energía y las emisiones, así como la bajada de los altos costes de producción. Pese a ello se el crecimiento de la automatización en el sector de la construcción ha sido considerablemente lento.

La principal ventaja de esta tecnología es la de la reducción de los eventuales accidentes que puedan derivar durante la construcción de las viviendas, ya que el mayor porcentaje de los mismos se produce durante la ejecución de la estructuras y de las fachadas, fases que realizaría la impresora.

En consecuencia se va a proceder a realizar un análisis de la integración de la prevención en estos sistemas, comparando las técnicas constructivas tradicionales con las propuestas por este método.

Para la realización del presente Estudio se analizarán varias tecnologías de impresión de viviendas en 3D, pero se centrará principalmente en la tecnología desarrollada por el profesor Behrokh Khoshnevis, de la Universidad de Carolina del Sur (EEUU).

El proceso a seguir por dicha técnica es el siguiente: basándose en un modelo tridimensional creado a través de algún software de CAD, y utilizando una máquina de grandes dimensiones con boquillas a través de las cuales se va inyectando el material, en este caso una mezcla de cemento, se van conformando las diferentes capas, que se van depositando gradualmente, hasta conseguir el diseño pretendido. Gracias a este proceso se pueden incluir, también, los conductos correspondientes para electricidad y fontanería.

Este procedimiento, de impresión de viviendas en 3D, será de gran utilidad para repoblar rápidamente ciudades devastadas por catástrofes naturales, o incluso en un futuro permitir la creación de hábitats fuera de la Tierra, como por ejemplo en la Luna y Marte.

Por todo lo descrito y por ser un tema de actualidad, de gran importancia y de gran repercusión, se ha optado por la realización de esta Memoria donde se analiza la integración de las medidas preventivas en los trabajos realizados con el sistema de impresión en 3D de viviendas.

2. Objetivos.

2. Objetivos.

El objetivo principal de este Estudio es el de realizar un análisis de la integración de la prevención en las obras de construcción utilizando la técnica de la impresión de viviendas en 3D propuesta por Contour Crafting.

Para la consecución de este objetivo principal se han establecido los siguientes objetivos complementarios con el fin de esclarecer y ayudar en la comprensión del mismo.

- Una vez descrito el método a emplear será conveniente realizar un análisis sobre los riesgos presentes en las obras elaboradas con la tecnología presentada en este Estudio, por lo que para llegar a tal fin se estudiarán las distintas fases de obra.
- Para finalizar se ha considerado oportuno realizar una comparativa entre los riesgos derivados del método tradicional y los derivados del método propuesto.

3. Justificación del tema elegido.

3. Justificación del tema elegido.

Algunos de los principales problemas que se han localizado con referencia al sector de la construcción y que por lo tanto han derivado al planteamiento de este tema de estudio son:

Unos de los principales problemas y por los que se decidió el realizar el presente Estudio es que en este sector el nivel de siniestralidad es bastante elevado (ver Figura 6.1. Índices de incidencia sectoriales en el año 2014), así que será conveniente llevar a cabo algunas acciones para evitar el aumento de dicha siniestralidad.

Otros son el del alto porcentaje de producción de residuos que se encuentra ligado a este sector, y el del elevado precio de la vivienda.

Por todos estos problemas resulta necesario buscar una solución que permita minorar estos inconvenientes, y debido al importante auge que está sufriendo en los últimos años la tecnología de impresión en 3D se plantea la posibilidad de la utilización de la misma para la construcción de viviendas, ya que gracias a este sistema se conseguirían reducir los niveles de siniestralidad, decaería la producción de residuos y por ende también el precio de la vivienda descendería.

4. Metodología.

4. Metodología.

En el presente Estudio, en el cual se pretende llevar a cabo un análisis de la integración de la prevención para la tecnología de construcción de viviendas a través de la técnica de impresión en 3D, se ha seguido la siguiente metodología para la realización del Estudio, con la finalidad de completar los objetivos planteados.

Etapas 1. Estudio bibliográfico

En esta primera fase se recopilará información con la finalidad de obtener toda la necesaria que pueda ser apta para la elaboración del Estudio. Para ello se buscará toda la información posible en relación con las investigaciones llevadas a cabo, y que han sido publicadas hasta la fecha, sobre el tema en el que se centra este trabajo.

Para ello se consultarán bases de datos para localizar los correspondientes artículos científicos. Así mismo se ha considerado oportuno la consulta de algunos libros.

Tras asesorarse en las bases de datos y con el propósito de obtener información complementaria se ha consultarán páginas Web, ya que dicha información se prevé que será casi imposible de obtener en libros y artículos.

Para completar la búsqueda ha sido indispensable informarse sobre algunas de las estadísticas elaboradas por los distintos organismos nacionales, información bastante importante para realizar este Trabajo, ya que gracias a estas estadísticas se permite dar a conocer la situación.

Etapas 2. Clasificación del estudio bibliográfico.

Una vez obtenida la bibliografía, se procederá a la selección y clasificación de la misma con la finalidad de elaborar un catálogo adecuado, organizándola en función del apartado en el cual se pretende utilizar.

Etapas 3. Elaboración del documento.

Tras haber completado la etapa anterior, se comenzará la redacción del documento objeto del presente Estudio, aclarando y ordenando todas las ideas recopiladas en la documentación obtenida.

Para ello se leerán todos los artículos, libros, estadísticas, así como toda la información obtenida de las distintas páginas Web, para posteriormente diseñar la estructura del Trabajo y proceder a su redacción.

Se ha reflexionado sobre la posibilidad de hacer un breve inciso sobre el sistema de impresión en 3D en general, así como de la metodología empleada por las empresas que realizan impresiones en 3D de viviendas, con la intención de dar a conocer los distintos sistemas que existen actualmente en el mercado.

Tras haber realizado dicho inciso, será conveniente conocer el sistema de construcción de viviendas a través de la tecnología de impresión en 3D, por lo que se analizará el sistema constructivo seguido por varias casas comerciales, pero focalizando especialmente en la desarrollada por el Dr. Khoshnevis, y la cual se denomina “Contour Crafting”.

Pero puesto que la finalidad del presente Estudio es la de analizar la integración de la prevención gracias a la tecnología propuesta, se ha considerado oportuno realizar una investigación sobre el estado de la situación actual del sector de la construcción, analizando las fases derivadas durante la construcción de viviendas similares a las que realiza la impresora, con la intención de examinar los riesgos presentes en dichas fases, para posteriormente llevar a cabo una comparativa de los riesgos existentes en el método tradicional y en la construcción de viviendas gracias a la impresión en 3D.

Etapas 4. Conclusión.

Y para finalizar el trabajo, y una vez desarrollados todos los contenidos referentes a la temática del Estudio, se procederá a la elaboración de las conclusiones a las que condujeron este Trabajo Fin de Máster.

Así mismo se plantearán futuras líneas de investigación en las que se pretende seguir trabajando en el marco de la técnica de construcción de viviendas gracias a la tecnología de impresión en 3D.

5. Introducción a la técnica de Impresión en 3D.

5. Introducción a la técnica de Impresión en 3D.

El objetivo del presente capítulo es el de dar una pincelada al lector sobre la impresión en 3D y su aplicación a la construcción de viviendas, para poder aplicar el objetivo del presente Estudio a la finalidad propuesta.

Además cabe señalar, que el objetivo principal no es el de aclarar el funcionamiento de estas impresoras 3D, sino centrarse en realizar un análisis de la integración de la prevención que deriva del uso de la tecnología de impresión de viviendas en 3D. Pese a todo se ha considerado oportuno realizar unos antecedentes mínimos, en los cuales se hace una extensa introducción al sistema de impresión en 3D.

5.1. Introducción a la impresión en 3D.

La irrupción de esta tecnología supondrá la apertura de nuevas fronteras, e implicará una revolución en la fabricación y el negocio en sí, cuando la gente corriente pueda acceder a la misma (Lipson, Kurman, 2015).

Un sistema de impresión en 3D es aquel en el que se utiliza una impresora 3D para realizar reproducciones en 3D de un modelo tridimensional virtual creado por medio de algún software de CAD.

Como indica Cuellar (Cuellar, 2015) el funcionamiento de la impresión en 3D se basa en la inyección de material a través de un inyector y un cabezal que se mueven en las 3 dimensiones (XYZ).

Este tipo de tecnología utiliza para trabajar distintos tipos de materiales, en función de los fines a los que se destine el objeto obtenido. La gama de materiales a emplear en esta maquinaria va desde plásticos, metales, tinta viva o biotinta, comida, cemento, etc.

Pudiendo crear objetos con plástico y metal de formas inimaginables y con un rendimiento bastante aceptable, que normalmente necesitarían de herramientas y habilidades excepcionales para realizarlos a través del uso de las técnicas habituales. Para la obtención de tejidos óseos, prótesis, cartílago o algún otro tipo de tejido vivo, se utiliza la tinta viva o biotinta, que es un gel imprimible con células vivas suspendidas en su interior (la finalidad de este gel es proteger las células en su salida por el inyector). Pero en cambio para la creación de comida se utilizan cartuchos de polvo que

contienen azúcares, proteínas y carbohidratos, que gracias a su mezcla se pueden obtener diversos productos alimenticios.

Con todo esto cabe señalar que la gama de materiales a utilizar con este tipo de tecnología aumenta cada día más, ya que se encuentra en pleno crecimiento. Hace unos años era impensable disponer estas de estas impresoras para un uso distinto, ya que se empleaban en el diseño y fabricación de piezas industriales, pero en la actualidad se uso se está extendiendo a otros niveles.

Pero a la hora de realizar una impresión existen dos principales modelos, una de ellas utiliza la técnica de deposición por capas de material, y la otra la tecnología que va compactando el material.

El primer modelo, también denominadas de adicción, debe este nombre a que el material se va rociando o pulverizando a través de un cabezal de impresión o boquilla, cuya operación se repite sucesivamente, añadiendo capas hasta la obtención del objeto diseñado. La materia prima podrá ser plástico, que se solidifica una vez se ha impreso el objeto, masa de galletas, biotinta, etc. Este tipo son las más utilizadas a nivel personal, tanto en hogares, oficinas o escuelas.

El proceso de impresión es bastante sencillo. A través de un archivo de diseño el cual se carga en la impresora, para que esta planifique toda la secuencia de operaciones a seguir y se comience a crear la primera capa de la pieza (también denominada contorno inferior). Una vez finalizada la primera capa, el cabezal se eleva para empezar con la siguiente, y así sucesivamente hasta terminar el objeto. Este proceso puede durar horas e incluso días.

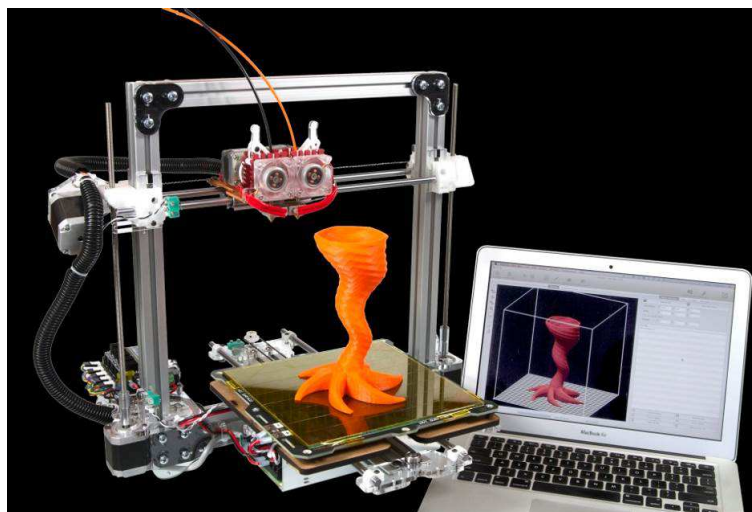


Figura 5.1. Impresora de adicción. Imagen por cortesía de Deezmaker.

El único inconveniente de este modelo, es que la materia prima se tiene que hacer pasar por el cabezal de impresión, por lo que el metal o el vidrio no se podrían utilizar como materia prima con esta tipología de impresión.

Dentro de este tipo de impresoras por adicción se encuentran las impresoras PolyJet (combinan un cabezal de impresión que rocía un fotopolímero con una lámpara ultravioleta que lo fortalece), las impresoras LENS (funde material mediante un rayo láser de alta potencia), y por último las impresoras de manufactura de objetos laminados (LOM) (laminan finas hojas de material para crear objetos tridimensionales).

En el segundo modelo de impresoras en 3 Dimensiones, también denominadas de compactación, el material en polvo se va compactando por estratos. Se utiliza el calor o luz para solidificar el polvo.

Existen tres variantes dentro de este tipo de impresoras de compactación y son las siguientes: la Estereolitografía (SL) (la impresora barre con un láser la superficie de un fotopolímero sensible a la luz ultravioleta que hace que se endurezca al someterse a este tipo de luz, las capas se van solidificando, superponiendo y sumergiendo en una cuba que contiene un polímero líquido. Tras este proceso habría que enjuagar el objeto, para limpiar los restos, y en algunos casos pulirlo), el Sinterizado por láser (LS) (es similar a la anterior, pero solo que en vez de utilizar polímeros líquidos, emplea polvo) y la Impresión tridimensional (3DP) (que consiste en un cabezal de impresión que va aplicando pegamento sobre una materia prima en polvo, para que se vaya depositando en estratos).



Figura 5.2. Proceso de impresión llevado a cabo por la impresora 3D de CADdy.

Como se puede deducir, tras todo lo comentado, gracias al uso de la técnica de impresión en 3D se consigue la creación de modelos tridimensionales sin la utilización de moldes.

5.2. Inicios impresión 3D.

Las personas tienen tres formas de obtener objetos sólidos, recortando la forma deseada de un bloque de material, otra adicionando material poco a poco para aumentar las formas, y otra vertiendo el material líquido o plástico en un molde con la forma requerida, para que se solidifique (Bradshaw, Bowyer, y Haufe, 2010).

Por lo que en el año 1983, Charles W. Hull, co-fundador de la empresa estadounidense 3D Systems, inventó el primer método de impresión en 3D: la Estereolitografía, basándose en las impresoras de inyección de tinta. Aunque no se comercializó hasta 1986, momento en el cual se permitió el uso de este proceso a nivel industrial, y se comenzó a utilizar para crear piezas pequeñas a modo de modelo antes de comenzar la producción en serie de las mismas.

Unos años después, Carl Deckard, de la Universidad de Texas, presentó el Sinterizado por Láser Selectivo (SLS), una patente con la cual a través de un láser se fundía el material pulverizado (generalmente metal) creando una estructura sólida. Dicha patente fue publicada por la empresa DTM, para posteriormente ser adquirida por 3D Systems.

A finales de la década de 1980, S. Scott Crump, fundador de Stratasys, desarrolló y comercializó en 1990 la técnica de Modelado por Deposición Fundida (Fused Deposition Modeling (FDM)), que consistía en la creación de objetos tridimensionales a través de la superposición de capas de material fundido para que posteriormente se solidificasen con la forma deseada. Como ocurría con la tecnología anterior esta se usa para el modelado de prototipos y la producción a pequeña escala.

En Europa en 1989, Hans J. Langer, fundó EOS, basándose en el Sinterizado por Láser, cuya tecnología fue utilizada por BMW para crear piezas para los automóviles.

Durante la década de los noventa unos estudiantes del MIT refinan gran parte de estas tecnologías y crean un modelo de impresora en 3D por inyección trucando una vieja impresora tradicional. Estos jóvenes fundaron su propia empresa, ZCorporation (adquirida en 2012 por 3DSystem), para comercializar sus modelos.

A lo largo de los años 1990 y principios de 2000 surgieron una multitud de nuevas tecnologías, pero todas enfocadas a usos industriales, siendo la mayoría para la creación de prototipos.

A mediados de la década de 2000, el sector comenzó a mostrar signos de diversificación. Por un lado la impresión de piezas en 3D de piezas de gran valor, de alta ingeniería, y con sistemas muy caros. Y en el otro extremo algunos fabricantes estaban desarrollando sistemas de impresión en 3D como sistemas a utilizar en oficinas y cuyo uso fuese más sencillo y rentable.

A partir de este punto, la impresión en 3D comenzó a perfilarse como una revolución del mercado domestico a través del proyecto RepRap, donde entra en juego la comunidad Maker. Con este proyecto se buscaba conseguir impresoras más economicas, por lo que Dr. Adrian Bowyer, de la Universidad de Bath (Reino Unido), desarrolla la primera impresora 3D capaz de imprimir casi la totalidad de las piezas que la componen, con un desarrollo totalmente abierto y orientado a que la comunidad vaya aportando sus propias investigaciones.

Basándose en este proyecto (RepRap), surgen varios con la misma intención, la de favorecer el desarrollo de esta tecnología, posibilitando el acceso a la misma de distintas comunidades. De entre todos sobresale el modelo propuesto por Makerbot.

Makerbot constituyó un hito en la impresión en 3D, ya que surgió como un proyecto de desarrollo abierto posibilitando no solamente que la impresora pudiese autoreplicarse, sino de forma que cualquier usuario fuese capaz de ensamblarla.

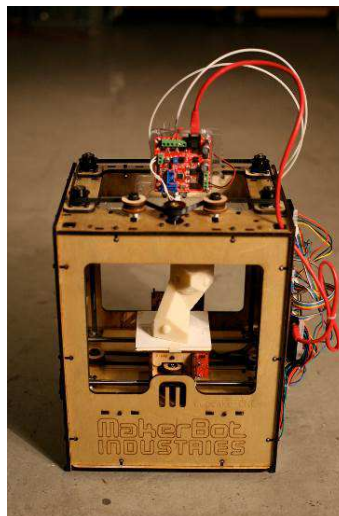


Figura 5.3. MakerBot Cupcake CNC; Precursora del Thing-O-Matic.

Tras el fenómeno causado por Makerbot, la popularización de la impresión 3D ha avanzado en pasos agigantados en todos los campos. Entre los que cabe destacar la impresión en 3D con fines biomédicos para la impresión de órganos, la impresión de joyas de oro, la impresión de chocolate, etc.

Actualmente la impresión 3D está avanzando a pasos agigantados y seguirá creciendo en el futuro. Solo con el tiempo se podrá decir si ese importante crecimiento derivará de la fabricación o en la fabricación de partes, productos y cosas imposibles de hacer económicamente, tales como partes de cuerpo, alimentos, viviendas, etc., ya que se permitirá el acceso a los usuarios para poder personalizar los productos, pudiendo crear o modificar cualquier diseño que tenga en mente.

5.3. Ventajas e inconvenientes de impresión en 3D.

Como indica Berman (Berman, 2012) este tipo de tecnología conlleva una serie de ventajas e inconvenientes en comparación con las técnicas tradicionales, que se enumeran a continuación.

Algunas de las ventajas de utilizar el sistema de impresión en 3D en comparación con los métodos tradicionales son:

- Poder construir económicamente productos personalizados en pequeñas cantidades como si se hicieran a través del uso de la producción en masa. Pero con las siguientes características:
 - No hay necesidad de costosas herramientas o moldes.
 - Ninguna necesidad de fresado o lijado.
 - Fabricación automatizada.
 - Empleo de suministros fácilmente disponibles.
 - Capacidad para poder reciclar el material de desecho.
 - Mínimo riesgo de acumulación de stock ya que no hay inventario de productos terminados sin vender.
 - Mejora de la gestión del capital de trabajo, se paga antes de fabricar.
- Capacidad para compartir fácilmente diseños y subcontratar la fabricación.

- Velocidad y facilidad de diseño, así como la posibilidad de modificación de productos.
- Acelerar la comercialización de los productos, ya que permite el prototipado de los mismos sin tener que salir de la propia oficina.

Pero este sistema también conlleva una serie de limitaciones.

- Mayores costos para las grandes producciones en series en relación con el moldeado por inyección y otras tecnologías.
- Opción reducida para materiales, colores y acabados superficiales.
- Baja precisión en relación con otras tecnologías.
- Fuerza limitada, resistencia al calor y la humedad, y la estabilidad del color.

5.4. Impresión de maquetas de edificaciones.

Uno de los usos más comunes de la impresión en 3D es el de la impresión de prototipos y de piezas de repuesto, entre otros usos. Siendo muy empleado en el ámbito de la arquitectura y la construcción, y tal como se ha señalado la forma de obtención de las mismas, es o bien por compactación, o por adicción.

Es un sistema rápido para la obtención de maquetas y prototipos de edificios a escala, que igual que todos los modelos de impresión parte de un modelo electrónico de un proyecto de construcción, obteniendo una maqueta física y fidedigna del proyecto a una escala. Pero habría que diferenciar entre dos topologías, en función de su utilidad, maqueta preliminar de trabajo y maqueta de obra terminada. Según la topología de la maqueta va a variar la finalización de la misma, la altura de capa, el nivel de detalle, la precisión, el material, la escala, etc. (Domínguez, Romero, Espinosa, Domínguez, 2013).

Estos sistemas de impresión en 3D, también llamados de prototipado rápido, utilizan el modelo electrónico del edificio, generando gracias al mismo una geometría triangulada con la forma final del edificio para posteriormente dar las instrucciones precisas a la impresora de forma que vaya realizando el objeto por capas, de una altura que oscila entre 0,015 y 0,250 mm., para que se solidifiquen y poder conformar la maqueta requerida.

5.5. Antecedentes e historia impresión con cemento.

La automatización ligada al sector de la construcción ha avanzado muy lentamente, a diferencia de la industria manufacturera (como se ha visto anteriormente). Pero este sector no solo tiene este inconveniente, sino que existen otros más importantes y que afectan al proceso en sí, como son la eficacia de trabajo que es alarmantemente baja, el índice de accidentes en obras de la construcción que es demasiado alto, la calidad de trabajo es baja, el control de la obra es difícil e insuficiente, y la mano de obra cualificada está desapareciendo (Warszawski and Navon, 1998, citado por Khoshnevis, 2004).

Por lo que para intentar paliar todas estas desventajas se ha intentado evolucionar la técnica, automatizando los procesos.

Durante los años 1998-2001 surge un proyecto con el objetivo de desarrollar un concepto de automatización de la construcción y de las tecnologías asociadas durante todas las fases del proceso de construcción de viviendas, incluyendo para ello el diseño modular de edificios, teniendo presente su alzamiento mediante robótica, la planificación automática, y la nueva planificación en tiempo real de los prefabricados de los edificios fuera de las instalaciones, el transporte y el montaje in situ.

Este proyecto está compuesto por empresas de construcción principales y centros de I+D desde el Reino Unido, España, Alemania, Finlandia, Países Bajos, Suecia y Japón. Por parte de la UE se denomina FutureHome, por la parte japonesa se designa IF7, y el consorcio del proyecto se llama FutureHome-IF7.

El reto de este proyecto es construir automáticamente diferentes casas con los mismos módulos prefabricados (Balaguer, 2000, citado por Balaguer et al., 2002).

Cada edificio se erige utilizando tridimensionales módulos y paneles en dos dimensiones para las fachadas. Estos módulos y paneles son realizados en fábrica, para posteriormente ensamblarlos en la línea de producción in situ.

Aunque este sistema se encuentra condicionado por la dimensión máxima para la fabricación de la fábrica, las dimensiones máximas de los caminos para el transporte, la carga máxima para las máquinas de montaje in situ, etc.

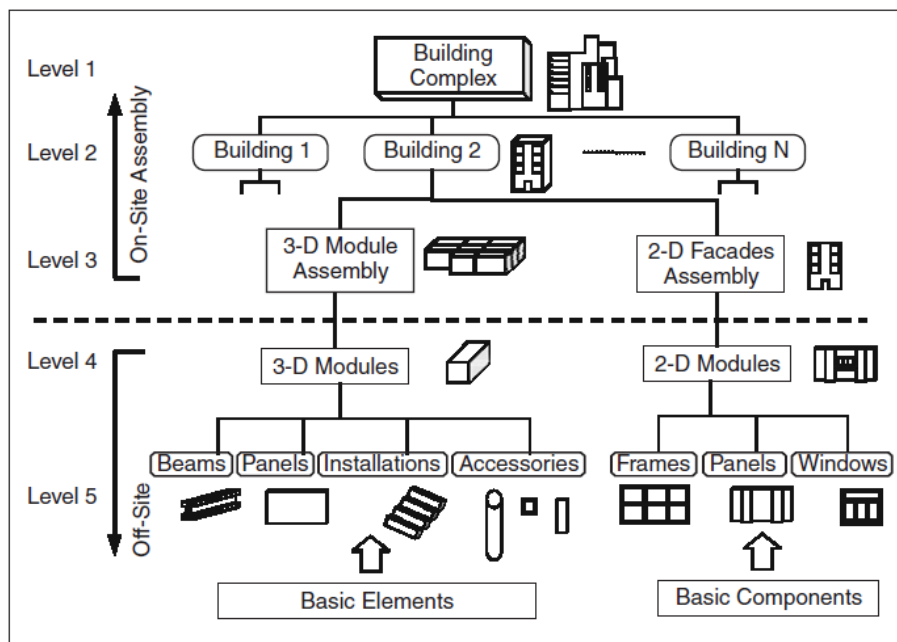


Figura 5.4. Esquema de árbol para crear la edificación a través del método FutureHome.

Otra tecnología enfocada igualmente a automatizar el proceso de la construcción de viviendas es la creada por la empresa Monolite UK.

Esta técnica desarrollada por Enrico Dini se denomina D-Shape, y es un sistema que se basa en el principio de impresión tridimensional utilizando el sistema de estereolitografía, por lo que permite ejecutar rápidamente, y sin emplear moldes, estructuras de hormigón de cualquier forma, cuya confección sería impensable utilizando los medios tradicionales, ya que o sería excesivamente costoso o el tiempo sería demasiado extenso.

Para la realización de las estructuras se utiliza una gran estructura de aluminio que consta de un cabezal que va depositando capas de material de 5 mm de espesor, basándose en un archivo de CAD. El material excedente actúa como soporte mientras la estructura se va solidificando, proceso que dura 24 horas. Este excedente se puede utilizar para otra impresión.

A pesar de su gran tamaño, la estructura es muy ligera y se puede transportar fácilmente, montándose y desmontándose en un par de horas por dos operarios.

Las estructuras creadas por esta tecnología tienen una resistencia y una tracción muy superior a la obtenida por el Cemento Portland, tanto es así que no hay ninguna necesidad de utilizar hierro para reforzarla.

Como todos los sistemas de impresión en 3D gracias a ellos se reducen los plazos de entrega, los costos son más bajos, y la siniestralidad que se encuentra ligada al sector de la construcción disminuye.

Aunque habría que señalar que con este procedimiento solo se pueden realizar estructuras que quepan dentro de su estructura, cuyas dimensiones son de 6 x 6 x 3 metros, por lo que para la realización de estructuras de mayor tamaño habría que recurrir a la impresión por partes de la misma para posteriormente ensamblarlas.



Figura 5.5. Impresora 3D de D-Shape y estructuras impresas por la misma.

Así mismo el profesor Behrokh Khoshnevis de la Universidad de Carolina del Sur (EEUU), presentó una tecnología de fabricación por capas que utiliza el control por ordenador para crear objetos con superficies planas y de forma libre, utilizando materiales tales como polímeros, cerámica o cemento.

Esta tecnología denominada Contour Crafting (CC) conlleva alguna serie de ventajas importantes en comparación con otros procesos similares como es por ejemplo la buena calidad de las superficies realizadas, una mayor velocidad de fabricación y la posibilidad de integrar la maquinaria con otras tecnologías de robótica (Khoshnevis, 2004).

La metodología a seguir para la realización de los trabajos se basa en las herramientas, de uso manual, utilizadas por los artistas y artesanos durante el transcurso de la historia, tales como paletas, palas, cuchillos y espátulas, para que a través de dos paletas con superficies planas se permita la obtención de objetos con acabados suaves y precisos.

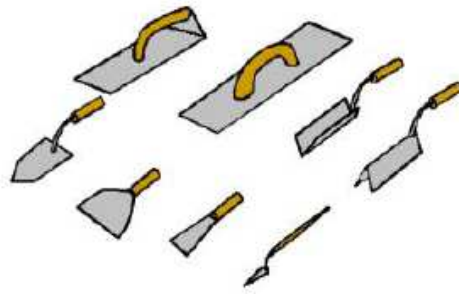


Figura 5.6. Herramientas comunes utilizadas por los artesanos.

Fuente: Khoshnevis, 2004.

El empleo de la fabricación por capas permite la creación de formas de distintas superficies utilizando para ello un menor número de herramientas y materiales que a través de los métodos tradicionales.

El procedimiento es una combinación entre la inyección (para formar las superficies de los objetos) y el vertido (para llenar la pieza), con el objetivo de conformar un núcleo. En la siguiente figura se expone la boquilla y los distintos componentes que la forman. Para llevar a cabo la impresión se extruye el material, y el recorrido de las paletas crea las superficies exteriores. Una vez completadas las capas exteriores se procederá a completar la piezas (siempre que sea necesario) rellenándose con hormigón vertido por la misma boquilla (Khoshnevis, 2004).

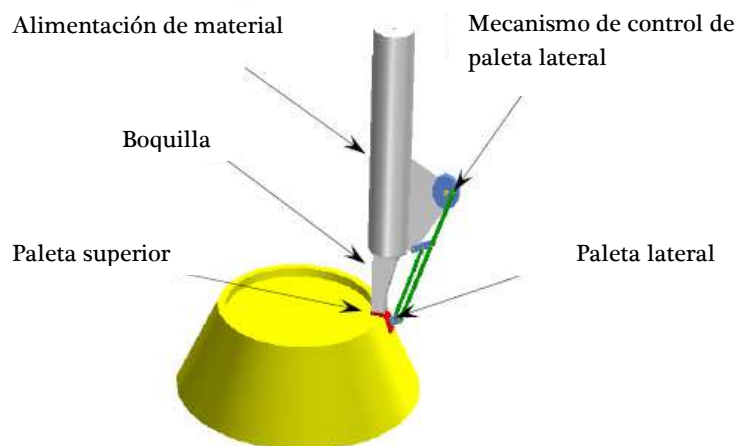


Figura 5.7. Componentes de la boquilla de la impresora de Contour Crafting.

Fuente: Khoshnevis, 2004.

Gracias a dicha tecnología se llegará a conseguir la construcción de viviendas asequibles, disminuyendo el nivel de accidentes, y mermando así el número de lesiones, ya que el sector de la construcción (como se verá más adelante) es uno de los que más incidentes registra. También se conseguirá reducir el impacto medioambiental pudiendo lograr un ahorro importante de energía.

Gracias al uso de este sistema de impresión se logrará construir una vivienda tipo de unos 200 metros cuadrados en aproximadamente un día, mientras que con el método tradicional se estaría barajando unos plazos de seis meses a un año.



Figura 5.8. Ejemplo de funcionamiento de la impresora de Contour Crafting para la creación de muros.

Tras la descripción de los sistemas actuales que permiten la impresión de piezas con hormigón para la construcción de viviendas, cabe destacar que la única tecnología capaz de fabricar grandes estructuras, tales como las viviendas (casi completas), es la desarrollada por Contour Crafting (CC) (Khoshnevis, 1998, citado por Khoshnevis, 2004).

Paralelamente en Shanghai la empresa “WinSun Decoration Design Engineering Co.” presentó diez casas, de unos 200 metros cuadrados, impresas en 3D. Para diez meses después de la presentación de este proyecto inicial, realizar un nuevo anuncio que significaría un avance importante. Construyeron un edificio residencial de 5 plantas de altura y la construcción de una villa de unos 1.100 metros cuadrados, incluyendo decoraciones internas y externas, todo ello gracias a la impresión en 3D.



Figura 5.9. Proyectos de WinSun, arriba el edificio de cinco plantas y abajo la villa de 1.100 metros.

Para lograr esto se usa una máquina que mide aproximadamente unos 6 metros de alto, 10 metros de ancho y 40 metros de largo, y a través de un diseño realizado con un programa CAD se elaboran las piezas en la fábrica, para posteriormente ser ensambladas en la obra. Para lograr esto se utiliza una tinta, que incluye hormigón, fibra de vidrio, arena, y un agente de endurecimiento especial. Esta es una manera increíble de reciclar los materiales de construcción en general - por no mencionar que es flexible, autoaislante y resistente a fuertes terremotos.

Desde la compañía WinSun aseguran que esta metodología de trabajo es capaz de ahorrar un 60 por ciento de los materiales que normalmente son necesarios para construir una casa, y se pueden imprimir en un lapso de tiempo que equivale a sólo el 30 por ciento de la de la construcción tradicional. En total, se necesita un 80 por ciento

menos mano de obra, es decir, la construcción es más asequible, y existe menos riesgo de lesiones de los trabajadores.



Figura 5.10. Proceso de ensamblaje de piezas de la compañía WinSun.

Como dato señalar que simultáneamente a la publicación de estos prototipos de impresoras 3D, DUS Architects, un estudio holandés de arquitectura, publicó que construiría en Ámsterdam la primera casa totalmente fabricada por una impresora 3D.

A diferencia de las impresoras, que utilizaban cemento o derivados del mismo, la diseñada por este estudio holandés, llamada “KamerMaker” (*“fabricante de habitaciones”*), de seis metros de alto y cubierta con la carcasa de un contenedor de transportes, utiliza diversos tipos de plásticos, fibras de madera y de maíz, para así poder materializar los planos de la casa y de sus muebles, generados por ordenador.

Primero se construirán las paredes exteriores, luego los techos y finalmente los muebles. A continuación las piezas se unirán como si se tratara de un puzzle gigante, encajando los bordes de unas piezas con otras, a modo de enormes piezas de *Lego*. Cada una de las partes de la casa se crea mediante un proceso de solidificación capa a capa.

El proceso de impresión de un edificio abarata el coste y acorta el plazo de ejecución con respecto a los de un edificio convencional, señala BBC. Mientras un edificio construido tradicionalmente requiere un plazo de seis años desde la concepción a la ejecución, un proyecto 3D como el que se está llevando a cabo en Ámsterdam estará terminado antes del fin de un año.

La tecnología de impresión 3D de muros y muebles está llamada a revolucionar la arquitectura, en tanto cualquier persona que trabaje con CAD podría, hipotéticamente, construir su propia casa pieza a pieza y ensamblarla.



Figura 5.11. Impresora 3D KameMaker.

Recientemente la firma australiana Fastbrick Robotics creó un robot capaz de levantar paredes de ladrillo reduciendo los plazos de ejecución. Normalmente el tiempo que emplea una cuadrilla de operarios para realizar las labores de albañilería es aproximadamente de seis semanas. Pues el prototipo propuesto por esta firma es capaz de realizar las labores en apenas 48 horas.

Hadrian, como se llama el robot, trabaja con la guía de un plano 3D del edificio creado a través de ordenador, y a partir del mismo el robot se encargará de realizar los cálculos sobre el número de ladrillos necesarios, con las mínimas pérdidas en el corte, ya que esta máquina se encarga de cortar los ladrillos en función de la necesidad de los mismos.

El personal se encargará de proveer el almacén del robot, aunque para controlarlo solo es necesario un único operario.

Una vez suministrado de material, mediante una línea de transporte incorporada, los llevará a la pared correspondiente donde se colocarán en el correcto orden a través del

brazo robotizado que tiene. Gracias a su elevada precisión permite dejar los huecos para los pasos de tuberías o cableado eléctrico. Para desplazarse por la obra dispone de un tractor oruga.



Figura 5.12. Robot Hadrian de Fastbrick Robotics.

6. Análisis de la situación actual

6. Análisis de la situación actual.

Tras haber realizado una breve introducción a la tecnología que se va a emplear en el presente Estudio se procederá a llevar a cabo un análisis de la situación actual del sector de la construcción, así como también se efectuará un recorrido por las distintas fases a seguir en el proceso de edificación, con la intención de estudiarlas.

Al sector de la construcción se encuentra asociado un gran porcentaje de accidentes, por lo que será conveniente analizar las estadísticas para corroborar si tales suposiciones son verdaderas o si por el contrario son falsas. A continuación se muestra una tabla en la cual se indican el número total de accidentes con baja en el sector de la construcción para el periodo comprendido entre los años 2003 al 2014, incluyendo para ello los provocados en la misma jornada y los acaecidos mientras los trabajadores se desplazaban al lugar de trabajo (in itinere).

AÑO	EN JORNADA				IN ITINERE	ACCIDENTES CON BAJA
	Total	Leves	Graves	Mortales	Total	
2003	230.735	226.955	3.482	298	12.668	243.403
2004	224.083	220.478	3.343	262	10.933	235.016
2005	238.495	235.212	2.973	310	11.881	250.376
2006	250.313	247.059	2.958	296	12.252	262.565
2007	250.324	247.094	2.952	278	12.496	262.820
2008	186.655	184.326	2.076	253	9.396	196.051
2009	122.614	121.120	1.329	165	6.620	129.234
2010	100.542	99.228	1.180	134	5.457	105.999
2011	78.966	77.883	962	121	4.041	83.007
2012	51.327	50.558	692	77	2.885	54.212
2013	41.994	41.442	490	62	2.325	44.319
2014	43.043	42.446	524	73	2.323	45.366

Tabla 6.1. Accidentes de trabajo con baja en el sector de la construcción en el periodo 2003-2014.

Fuente: Elaboración propia tomando datos del Ministerio de Empleo y Seguridad Social.

Tras analizar las estadísticas de las que se disponen se puede afirmar que durante los años 2006 y 2007 se produjo una subida en el número de accidentes, tendencia que en los siguientes años se puede apreciar que cambia, porque la cantidad de accidentes cae bruscamente. Este aumento de los accidentes pudo venir provocado por el aumento de trabajadores afiliados, tal y como se puede observar en la “Figura 6.3. Encuesta de población activa para los periodos entre 2002 a 2015”.

Observando los datos de la tabla anterior se puede deducir que del total de los accidentes, en todos los años, el porcentaje de los mismos en jornada es del 95 %, siendo por tanto el de los acaecidos In itinere del 5 %. Entre los ocasionados dentro de la jornada de trabajo los leves ocupan un 98,60 %, los graves 1,25 % y los mortales 0,15 %.

Así que para comenzar cabe señalar que pese al descenso de actividad que ha sufrido el sector de la construcción en los últimos años, este sigue acumulando un gran número de accidentes (como se ha visto anteriormente). De manera que en el año 2014 se registraron 524 accidentes graves y 73 mortales, aún así habitualmente la forma de expresar la siniestralidad por accidente de trabajo es a través del índice de incidencia. Gracias a este indicador se muestra el número de accidentes producidos en un periodo de tiempo determinado (un año) por cada 100.000 trabajadores afiliados. En el año 2014 el sector de actividad con mayor índice de incidencia fue el de la construcción, que con 6.314,70 supera en más del doble la media del resto de los índices sectores.

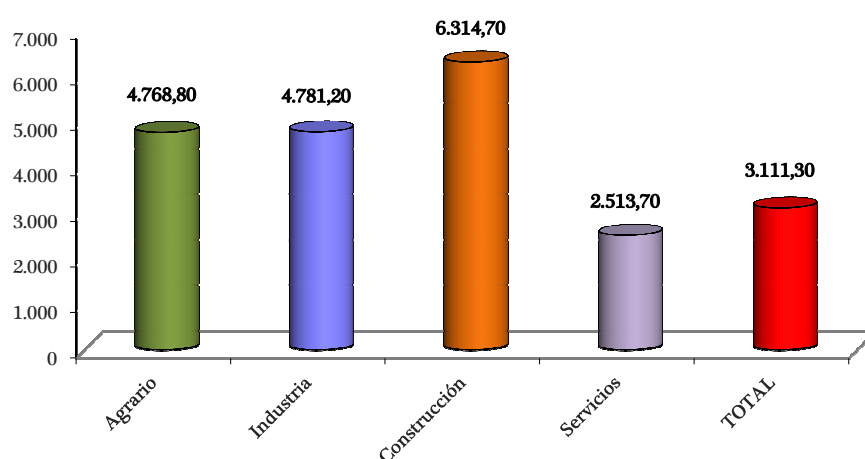


Figura 6.1. Índices de incidencia sectoriales en el año 2014.

Fuente: Elaboración propia tomando datos del Ministerio de Empleo y Seguridad Social.

Tal y como se puede apreciar en la tabla 6.1, los últimos datos obtenidos son del año 2014, pero observando los datos de dicha tabla cabe destacar que en el año 2013 se produjo un mínimo en el número de accidentes totales, por lo que los siguientes análisis se centraran en las estadísticas relacionadas con dicho año, con la intención de esclarecer un poco la situación que derivó a ese mínimo.

En la siguiente figura (Figura 6.2.) se procederá a estudiar los índices de incidencia de los distintos sectores en el año 2013.

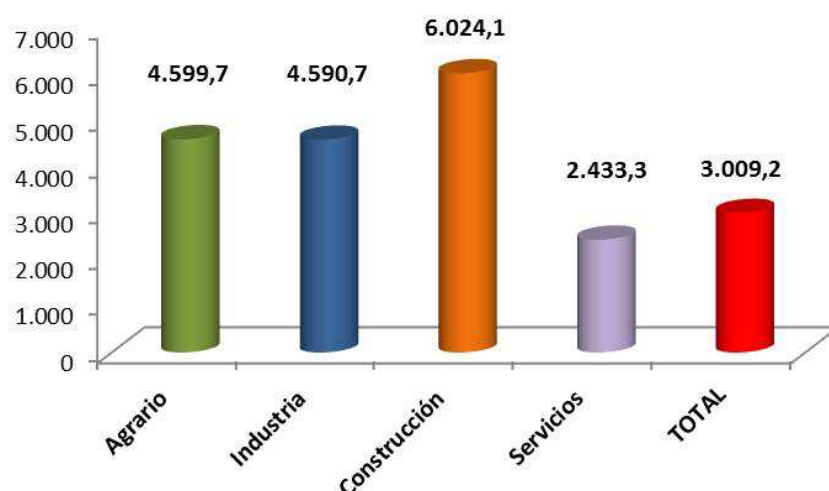


Figura 6.2. Índices de incidencia sectoriales en el año 2013.

Fuente: Estadística de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales. Datos anuales 2013. MEYSS.

Tras contemplar los índices de incidencia, y realizando la comparación de dichos índices referentes al sector de la construcción, con los del año anterior (2012) se observa una disminución de los mismos en un 4,33%, pero esto se puede deber al descenso sufrido en su población afiliada, que ha sido de un 14,5%*.

La compleja situación de crisis en la que se encuentra el país hace que sea difícil interpretar correctamente los resultados. Si bien parece que los datos apuntan a que la siniestralidad aumenta en aquellos sectores que están siendo motores de la recuperación económica (INSHT, 2013), tales como el agrario y el servicios.

Pero valorando los datos de la siniestralidad 10 años antes, se puede observar que en el año 2013 presentan una mejora. Aunque sería adecuado indicar que el patrón de evolución del resto de sectores productivos, es similar.

En el año 2003 se identificaron 3.919 accidentes graves y 410 mortales, aunque el descenso de los accidentes mortales y graves en estos 10 años es bastante notable, ya que en el año 2013 se dieron 490 accidentes graves y 62 mortales, será conveniente comparar los índices de incidencia, para comprobar dicha disminución. Y el índice de incidencia en el sector de la construcción en el año 2003 es de 15.298,60, más de el doble que el del año 2013, que como se puede apreciar en la Figura 6.2. es de 6.024,10.

* Informe anual de accidentes de trabajo en España 2013. INSHT.

Pero es necesario añadir que esta tendencia al descenso de dichos índices no debe empañar el elevado número de accidentes.

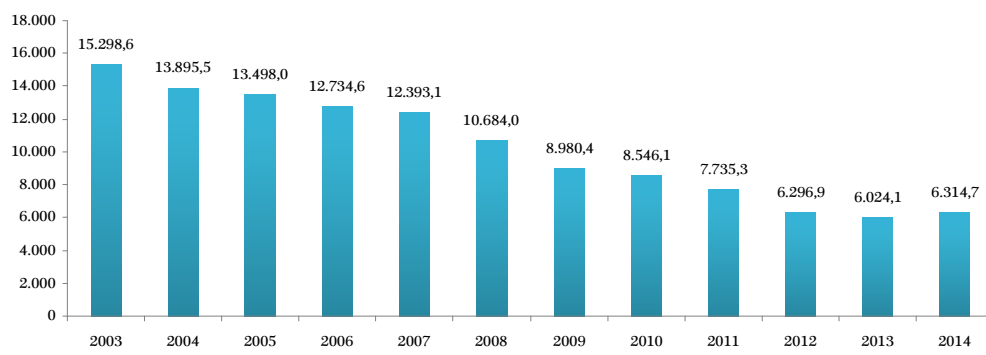


Figura 6.3. Índices de incidencia en el sector de la construcción para los periodos entre 2003 a 2014.

Fuente: Elaboración propia tomando datos del Ministerio de Empleo y Seguridad Social.

Cabe preguntarse a que se puede deber este descenso de los índices. Pues bien una de las principales causas en las que se puede llegar a pensar es en el descenso de la tasa de población activa, que como bien se puede observar en el siguiente gráfico en la que se representa la Encuesta de Población Activa por trimestres, entre los años 2002 y el primer trimestre de 2015, la tasa de empleados en los años 2003 y 2013 es muy similar, por lo que dicho descendimiento de los índices debe de estar provocado por otras causas.

Tal y como se señaló anteriormente, en el año 2014 se produce un aumento del índice de incidencia en el sector de la construcción, pudiendo derivar dicho aumento del incremento del personal empleado acaecido en dicho año (Figura 6.4).

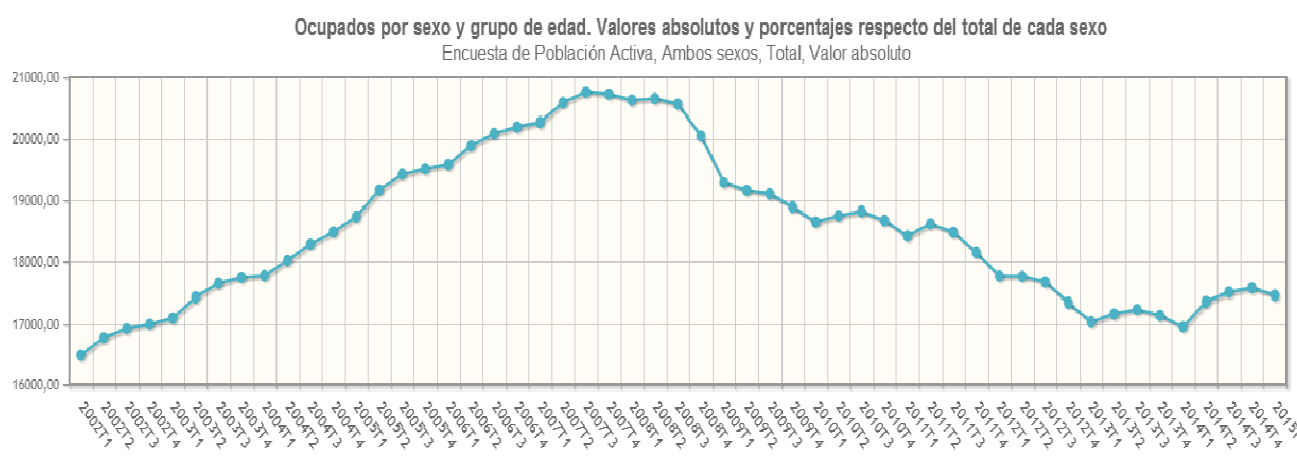


Figura 6.4. Encuesta de población activa para los periodos entre 2002 a 2015.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

Pero la tabla anterior muestra la Encuesta de población activa de todos los sectores productivos, así que es necesario analizar los datos específicos del sector de la construcción, para observar si también se da esta disminución de las tasas de empleados. Y tras analizar los datos específicos relacionados con el sector de la construcción se puede añadir que las tasas de ocupados en el sector de la construcción también descienden bruscamente, pudiendo contemplar dicha estadística en la Figura 6.5.

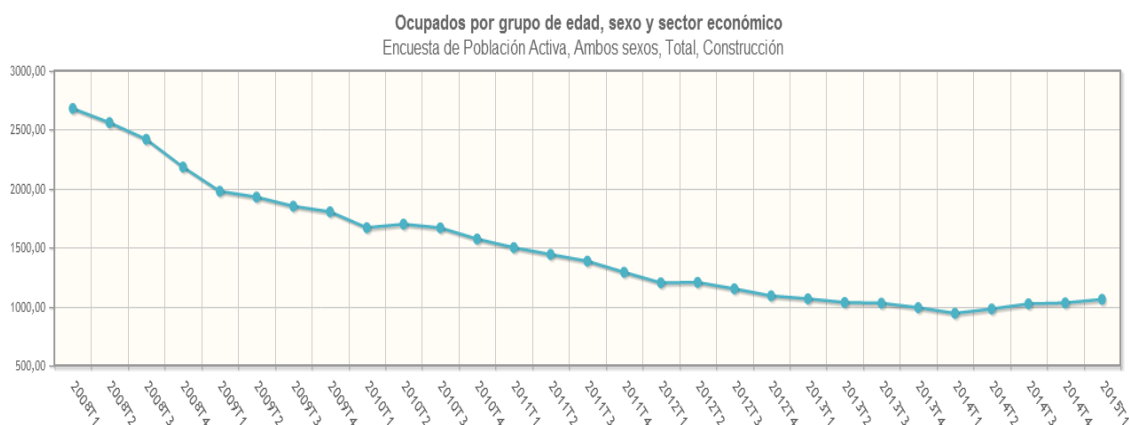


Figura 6.5. Encuesta de población activa en el sector de la construcción para los periodos entre 2008 a 2015.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

Entonces se puede ratificar que la disminución de los índices de incidencia no viene provocada solo por la caída de las tasas de trabajadores afiliados, si no que puede tener su origen en otras causas.

Esta reducción también pone de manifiesto que se están adoptando soluciones, que de una manera u otra están provocando la mejora de los resultados, en comparación con los de los periodos anteriores. Esto puede estar debido a la mejora de las técnicas productivas, permitiendo una mayor y mejor formación en las mismas, y facilitando dicha reducción (Durán, 2008). Por lo tanto una mayor especialización favorece la mejora de los índices, disminuyendo el número de personal accidentado y de los fallecidos.

Aún así cabe señalar que los accidentes más comunes en todos los sectores son los resbalones, los tropiezos y las caídas. Sin embargo también supone un peligro para los trabajadores la falta de formación e información, las caídas de objetos, las quemaduras, los incendios, etc.

Tras analizar el Informe Lorent, realizado por Pierre Lorent (1989), en el cual se analizó las causas de los accidente mortales en los países de la CEE, se llegó a la conclusión de que los siniestros ocasionados se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Fase de proyecto. El 35 % de los accidentes de trabajo mortales son debido a una concepción errónea durante la fase de redacción del proyecto.
- Planificación de la obra. Debido a la organización de la obra tiene origen el 28 % de los accidentes de trabajo mortales.
- Ejecución de la obra. El 37 % de los accidentes de trabajo mortales son imputables a los propios riesgos de la obra.

Así que como se puede observar más del 60 % de los accidentes de trabajo mortales en el sector de la construcción tienen origen en las decisiones tomadas antes del comienzo de los trabajos. Por ello se hace necesario, y es de vital importancia, revisar dichas fases.

Según una entrevista concedida al COATT de Sevilla (Entrevista realizada por D. Alfredo Martínez Cuevas, publicada en 1998 en el número 54 de la revista Aparejadores del COATT de Sevilla) el propio Lorent afirmaba que desde siempre había estado convencido que la seguridad no se añade, sino que se anticipa. Que son preferibles las prevenciones anticipadas y adecuadas a cada caso concreto, que las protecciones añadidas. De ahí la importancia de incidir sobre las fases de proyecto y de planificación.

Por consiguiente una buena planificación de obra hace que el número de accidentados disminuya, así que será importante tener dicha tarea en cuenta. Y las principales herramientas para favorecer la aplicación de este cometido son la evaluación de riesgos y la prevención a través del diseño.

Para evitar la proliferación de los percances, los empresarios están obligados a realizar la identificación y la evaluación de los riesgos existentes en el trabajo para tomar las medidas convenientes y así mejorar el nivel de protección de los trabajadores preservando la seguridad y la salud de los mismos, debiendo consultar a los trabajadores o a sus representantes sobre el método empleado para su elaboración. La herramienta empleada para llevar a cabo esta tarea es la “Evaluación de riesgos”.

Una evaluación de riesgos es una de las piedras angulares para la prevención de accidentes y enfermedades laborales, y debido a su importancia requiere de la necesidad de realizarla adecuadamente, teniendo en cuenta todos los riesgos, comprobando la eficacia de las medidas de seguridad, así como la documentación de

los resultados de la evaluación para la revisión periódica, y asegurar su correcta vigencia.

Gracias a una evaluación de riesgo adecuada se podrán llevar a cabo las medidas de protección pertinentes para prevenir los riesgos en general y los riesgos específicos que puedan afectar al personal.

Los pasos a seguir para realizar una correcta evaluación de riesgos son los siguientes:

- La identificación de los peligros y las personas expuestas a ellos.
- La evaluación y priorización de los riesgos.
- Elección de la medida preventiva adecuada.
- Seguimiento y revisión.

Por lo tanto se puede destacar que dicha evaluación es un instrumento bastante considerable a tener en cuenta a la hora de planificar la seguridad y salud de los trabajadores en las obras.

Gracias a esta evaluación no solo se localiza en la fase de proyecto el origen de gran parte de los riesgos laborales presentes en las obras, sino que también se regulan las actuaciones en materia preventiva de proyectistas, de la propiedad y de los coordinadores de seguridad y salud en fase de proyecto, todo ello con el objetivo de favorecer la integración de la prevención en las etapas previas del proceso constructivo y así evitar que en la practica dichos aspectos preventivos se tengan que configurar una vez definida la técnica de la obra.

Otra de las herramientas que favorecen esa disminución de los índices de accidentes es la integración de la Prevención a través del diseño (PtD). Con este instrumento se pretende combatir los riesgos en el origen con la finalidad de evitarlos, tener en cuenta la evolución de la técnica, sustituir lo peligroso por lo que entraña poco o ningún peligro y adoptar medidas que antepongan la protección colectiva a la individual.

Como indica Gambatese (2000), el diseño define la configuración y los componentes de un proyecto de edificación, e influyen en gran parte, en como será constituido, así como los consiguientes peligros de seguridad.

El objetivo de la PtD es integrar la seguridad en el diseño de la metodología, para eliminar o evitar los riesgos ante la exposición de los trabajadores a los mismos. Así pues es conveniente promover el diseño de la seguridad, aumentando para ello los

conocimientos de diseño conceptual, utilizando diseñadores con conocimientos suficientes sobre el diseño con fines de seguridad, llevando a cabo el diseño de instrumentos de seguridad disponibles para el empleo de los mismos con la intención de minorar el número de accidentes (Gambatese, Behm, Hinze, 2005).

Por consiguiente la PtD es una herramienta que permite afrontar las medidas de seguridad en las primeras fases de diseño y siendo de gran ayuda para la reducción de los riesgos con su conveniente ahorro económico. Los riesgos se consiguen minimizar a través de la eliminación de los peligros antes de que se produzcan.

De manera que la aplicación de la PtD puede provocar un gran impacto en todo el programa de seguridad, ya que se aplica en todos los aspectos de la seguridad, desde la protección anticaídas hasta los espacios confinados. Así que los principios de la PtD se pueden emplear para diseñar modernizaciones de los procesos, renovaciones o automatizaciones de los mismos (Anderson, Galecka, 2014).

Así que la integración de la prevención en el proyecto, y por consiguiente, la aplicación de las técnicas de PtD están relacionadas con aspectos tales como la sostenibilidad en la construcción o la economía del diseño (Arevalo, 2013).

De modo que se puede extraer de todo lo comentado que es conveniente realizar una correcta planificación de la técnica a emplear en el proyecto que se va a realizar, ya sea rediseñando las técnicas o elaborando un análisis exhaustivo de todos los riesgos que se puedan presentar en la misma, para así conseguir reducir el porcentaje de personal afectado por los peligros presentes en las obras de edificación.

De esta manera surge la hipótesis de la creación de un sistema con el cual se reduzca el número de accidentados en este sector. El sistema es el de una impresora en 3D con el objetivo de automatizar el sistema de construcción permitiendo la creación de una vivienda. Por lo que se va a estudiar dicho procedimiento con la finalidad de analizar las características del mismo, finalizando con una comparativa de los resultados obtenidos gracias a esta tecnología y los logrados a través del método tradicional.

6.1. Análisis de las fases de obra.

Para llevar a cabo un correcto estudio de las fases que componen una obra de edificación será necesario realizar una interpretación de las estadísticas de las que se disponen con respecto a la siniestralidad en el sector de la construcción.

Recientemente se ha publicado un estudio en el cual se elabora una estadística sobre el número de accidentados en las obras de edificación por fases de ejecución, el cual se representa en el gráfico de la Figura 6.6.

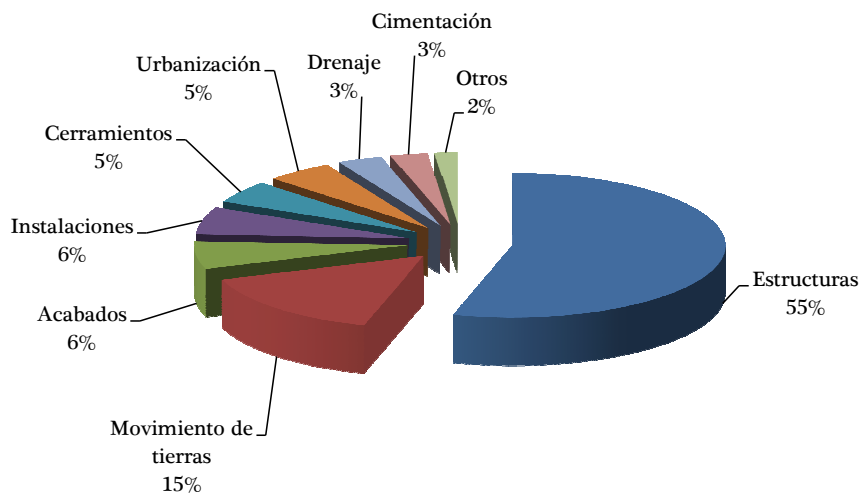


Figura 6.6. Porcentaje de accidentes según fase de obra.

Fuente: Elaboración propia tomando datos de López Alonso, Ibarrondo Dávila, Rubio Gámez, 2015

Como se puede observar la fase con mayor número de trabajadores afectados es la de estructuras, seguida de la de movimiento de tierras, pero en la fase de estructuras el porcentaje de personal afectado es bastante elevado, por lo que a dicha fase habrá que dedicarle especial atención.

De esta manera en este estudio se incluye todo tipo de accidente acaecido en el lugar de trabajo, sin hacer ninguna distinción entre leves, graves o mortales. Pero la Fundación MUSAAT realizó una investigación entre los años 2008-2011 con la finalidad de clasificar los accidentes mortales ocasionados en las obras, elaborando una distinción de los incidentes en función de la fase en la que se han originado.

Y tal y como se declaraba en el estudio anterior, en el realizado por la Fundación se puede contemplar que la fase con mayor porcentaje de personal afectado, en este caso mortalmente, también es la de estructuras.

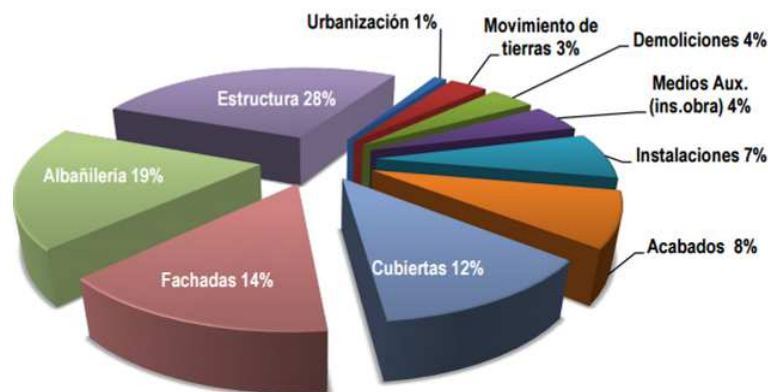


Figura 6.7. Porcentaje de accidentes mortales según fase de obra. Fuente: Investigación sobre factores relacionados con los accidentes laborales mortales en el sector de la edificación. Fundación MUSAAT, Cuatrienio 2008-2011.

Tal y como se puede percibir otra de las fases bastante afectadas por los incidentes es la de albañilería, y esto se puede deber que es una de las fases con mayor duración, dado que aparece en otras fases en forma de ayuda, por lo que si se pudiera realizar un índice de frecuencia en función del tiempo de exposición al riesgo probablemente la albañilería perdería parte de ese porcentaje, pudiendo retroceder posiciones con respecto al resto de fases (Fundación MUSAAT, 2012).

A continuación será necesario elaborar un listado con una relación no demasiado exhaustiva de los riesgos más comunes que se pueden presentar en las obras de edificación, realizando para ello una distinción según las fases en las que se ocasionan, para posteriormente poder llevar a cabo una comparación con los que se puedan presentar debido al uso de la tecnología de impresión en 3D en la que se centra el presente Estudio.

6.2. Análisis de los riesgos por fase de obra. Método tradicional.

– Fases previas.

Las fases de movimiento de tierras y de cimentación no se ha considerado oportuno estudiarlas por ahora, ya que la visión de obra no varía a la hora de la utilizar la impresora en 3D, así que los riesgos presentes en estas fases serán los mismos en el método tradicional y en el propuesto en este Estudio.

– **Estructuras.**

Como se ha visto anteriormente esta fase es una de la que mayor siniestralidad conlleva, por lo que será de gran interés el estudio y la correcta realización de la misma.

La construcción de este tipo de estructuras de hormigón armado suele seguir una serie limitada de unidades de ejecución partiendo del encofrado, para seguir con la colocación de la ferralla, el hormigonado y terminar con el desencofrado.

Seguidamente se estudiará cada fase, refiriendo una serie de riesgos detectables más comunes que puedan producirse durante la ejecución de las mismas.

Durante la realización de los trabajos de encofrado se pueden presentar situaciones de riesgo, para la seguridad de los trabajadores y para las personas que se encuentran en sus alrededores. Para poder evitar estos riesgos será conveniente conocer los riesgos, las medidas de seguridad y las protecciones a utilizar.

Los riesgos detectables más comunes son los siguientes:

- Desprendimientos de objetos y material por mal apilado.
- Desprendimiento de material durante las maniobras de izado.
- Caída del personal al mismo nivel y distinto nivel.
- Cortes al preparar el material para los encofrados.
- Pisadas sobre objetos punzantes.
- Atrapamiento o aplastamiento por o entre objetos o máquinas.
- Golpes y contusiones en general.

En las actividades de ferrallado se ejecutan todos los trabajos relacionados con la elaboración y colocación de las armaduras. Los riesgos detectables más comunes relacionados con esta son los siguientes:

- Cortes y heridas por la manipulación del acero.
- Sobreesfuerzos por manipulación de material.
- Atrapamiento o aplastamiento por o entre objetos o máquinas.

- Caídas de personal al mismo y distinto nivel.
- Caídas de objetos a distinto nivel.

Con respecto a los riesgos más comunes asociados a las labores de manipulación de hormigón, se pueden señalar los contactos con el hormigón, que deriven en dermatitis, y las vibraciones producidas por los vibradores de superficie.

Las operaciones de desencofrado deben realizarse lo antes posible para conseguir un gran número de usos, pero no antes de que el hormigón alcance la suficiente resistencia para asegurar la estabilidad de la estructura y soportar su propio peso y las sobrecargas de trabajo que gravitan sobre él.

Los riesgos que pueden darse son:

- Cortes y heridas.
- Sobreesfuerzos por manipulación de material.
- Atrapamiento o aplastamiento por o entre objetos o máquinas.
- Caídas de personal al mismo y distinto nivel.
- Caídas de objetos a distinto nivel.
- Pisadas sobre objetos punzantes.
- Proyección de fragmentos o partículas.

– **Cubiertas.**

En esta fase se debe tener especial atención al riesgo de la caída de personas a distintas alturas, ya que todos los trabajos se suelen realizar a alturas elevadas, en los que una caída podría provocar serios daños en las personas.

Los riesgos que pueden aparecer en esta etapa son:

- Caídas de personal al mismo y distinto nivel.
- Caídas de objetos a distinto nivel.
- Contactos eléctricos directos con líneas eléctricas aéreas.

- Cortes y heridas.
- Manipulación de productos químicos.

– **Obras de fábrica.**

En esta fase se engloban todas las referentes a la realización de los cerramientos y las particiones interiores, a través del uso de fábricas de ladrillo. Los riesgos más comunes que se pueden presentar en dicha fase son los siguientes:

- Contactos con el hormigón, que deriven en dermatitis.
- Cortes y heridas.
- Sobreesfuerzos por manipulación de material.
- Atrapamiento o aplastamiento por o entre objetos o máquinas.
- Caídas de personal al mismo y distinto nivel.
- Caídas de objetos a distinto nivel.
- Pisadas sobre objetos punzantes.
- Proyección de fragmentos o partículas.
- Contactos eléctricos directos o indirectos.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Golpes y contusiones en general.
- Derrumbamientos.

– **Instalaciones.**

Esta fase engloba una de actividades compuestas por la instalación de ascensores, las instalaciones de fontanería y de saneamiento, las instalaciones de aire acondicionado y las instalaciones eléctricas. Si bien cada una de las etapas de esta fase conlleva riesgos específicos, pero hay algunos que pueden ser comunes a todas, como son:

- Cortes y heridas.
- Caídas de personal al mismo y distinto nivel.
- Caídas de objetos a distinto nivel.
- Contactos eléctricos directos o indirectos.
- Golpes y contusiones en general.
- Quemaduras.

– **Acabados.**

La fase de acabados es una de las fases más completas, ya que incluye una serie de actividades varias con la intención de terminar los trabajos y por consiguiente la edificación.

Se comenzará con la colocación de la carpintería. Se aplica en los cerramientos exteriores e interiores, con puertas y ventanas realizadas con carpinterías de acero, aluminio inoxidable, PVC, etc., recibidas en los haces interiores del hueco.

Los riesgos en esta etapa de la fase de obra son:

- Cortes y heridas.
- Sobreesfuerzos por manipulación de material.
- Caídas de personal al mismo y distinto nivel.
- Caídas de objetos a distinto nivel.
- Pisadas sobre objetos punzantes.
- Proyección de fragmentos o partículas.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Golpes y contusiones en general.
- Desprendimientos.

Tras establecer las carpinterías será conveniente instalar la cristalería (vidrios) a la carpintería que lo requiera. Los riesgos en esta etapa:

- Cortes y heridas.
- Sobreesfuerzos por manipulación de material.
- Caídas de personal al mismo y distinto nivel.
- Caídas de objetos a distinto nivel.
- Pisadas sobre objetos punzantes.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Golpes y contusiones en general.

Los solados, alicatados, enfoscados y enlucidos se van a tratar como un conjunto, ya que se tratan de revestimientos y los riesgos son similares.

- Contactos con el hormigón, que deriven en dermatitis.
- Cortes y heridas.
- Sobreesfuerzos por manipulación de material.
- Atrapamiento o aplastamiento por o entre objetos o máquinas.
- Caídas de personal al mismo y distinto nivel.
- Caídas de objetos a distinto nivel.
- Proyección de fragmentos o partículas.
- Contactos eléctricos directos o indirectos.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Golpes y contusiones en general.
- Desprendimientos.

La última etapa de esta fase de acabados es la de pintura. Cuyos riesgos más comunes se señalan a continuación.

- Quemaduras físicas y químicas.
- Atmosferas tóxicas, irritantes.
- Sobreesfuerzos por manipulación de material.

- Caídas de personal al mismo y distinto nivel.
- Caídas de objetos a distinto nivel.
- Proyección de fragmentos o partículas.
- Contactos eléctricos directos o indirectos.
- Cuerpos extraños en ojos.

En estas relaciones no se pretende ser exhaustivo, lo que se pretende es llevar a cabo una delimitación representativa de los riesgos más comunes en estas fases de obra. Por lo que es conveniente señalar que cada obra dispondrá de algunos más específicos, en función de las características de la misma.

7. Análisis de la situación propuesta.

7. Análisis de la situación propuesta.

Una vez analizada la situación actual del sector de la construcción, y tal y como se indica anteriormente, será conveniente desarrollar labores con la intención de reducir la siniestralidad ligada a este sector. Asimismo es necesario añadir que los accidentes ocasionados hacen aumentar el costo general de la construcción, agravándose dicho costo en función de la gravedad de los incidentes.

Por lo que todo lo comentado se plantea el sistema de impresión de viviendas en 3D, con la intención de reducir el número de accidentes y de disminuir el nivel de impacto generado por la construcción de viviendas en el medio ambiente, ya que esta actividad genera un flujo importante de residuos.

7.1. Sistema constructivo.

Para comenzar el análisis a la técnica propuesta en este Estudio será conveniente efectuar una introducción sobre la metodología que emplea la misma para completar el proceso. Para ello se va a utilizar la documentación aportada por *Contour Crafting* (CC), empresa que creó esta tecnología y que actualmente se encuentra en desarrollo, por lo que todo lo conseguido es en laboratorio, obteniendo solo prototipos. Se prevé que en los próximos años comience a comercializarse esta tecnología.

Según una entrevista concedida a la Web “3dprint.com” (Entrevista realizada por Brian Krassenstein, publicada en Marzo de 2015 en <http://3dprint.com/>) el propio Khoshnevis afirmaba que en unos dos años la impresora estará disponible por un precio aproximado de 200.000 \$, y que dicho precio variará en función del tamaño y de la capacidad de la máquina. En dicha entrevista el Dr. también manifestaba que se esperaba un uso generalizado para el año 2020, siendo posible la impresión no solo de muros de hormigón, sino que también planchas de yeso e incluso material para aislamiento.

La tecnología de CC está compuesta de un pórtico que consta de dos brazos, uno para inyección de material y el otro con una pinza para el posicionamiento de los materiales de soporte, dicho pórtico se mueve a través de dos carriles paralelos instalados en el terreno. Gracias a este sistema se permite la impresión/construcción de viviendas de unos 200 metros cuadrados y dos plantas en un plazo de 24 horas, con un diseño que

sería difícil o imposible de realizar a través de la utilización de la técnica tradicional (Khoshnevis, 2004).

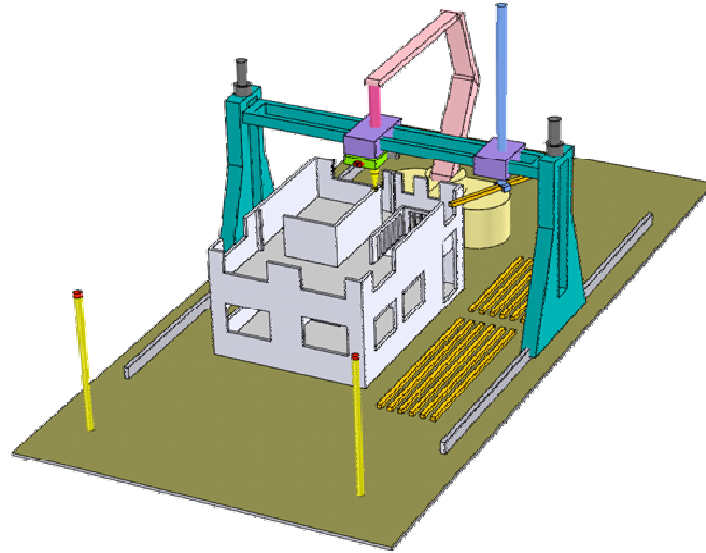


Figura 7.1. Impresora 3D de viviendas. Fuente: Contour Crafting.

Para la instalación de la máquina será necesario un sitio despejado y nivelado, con la finalidad de evitar la inestabilidad de la misma, para ello será conveniente preparar el terreno, realizando el movimiento de tierras correspondiente y la posterior cimentación, todo ello siguiendo las pautas del método tradicional.

Una vez completa la fase anterior se procederá a la colocación de los raíles por los que se desplazará la impresora, ubicándolos a unos 60 cm (como mínimo) de la eventual construcción, y al despliegue de la misma.



Figura 7.2. Proceso de instalación de la impresora 3D en el lugar de trabajo. Fuente: Contour Crafting.

Como se ha dicho anteriormente la impresora consta de dos brazos telescópicos. Estos brazos se mueven, controlados por ordenador, en el plano horizontal mediante guías y en vertical mediante la grúa de cada brazo.

En uno de los brazos se encuentra la boquilla de extrusión a través de la cual se inyecta el material. Al cabezal con boquillas de extrusión llega directamente desde el depósito el cual contiene la mezcla especial de los materiales, tales como polímeros, cerámica o cemento, que se va depositando por capas en las zonas determinadas según el prototipo creado digitalmente.



Figura 7.3. Proceso de impresión de cerramientos. Fuente: Contour Crafting.

Los materiales que utiliza esta impresora son similares a los empleados con el método tradicional. Pero con el método tradicional la mezcla de los materiales tenía que ir preparada con anterioridad, y a través del procedimiento de CC los materiales pueden ser suministrados a la impresora y esta los mezcla en el barril de la boquilla inmediatamente antes de la deposición. La cantidad de cada material estará controlada por ordenador (Khoshnevis, 2004). Mientras se va realizando el cerramiento, la máquina es capaz de ir construyendo los huecos necesarios para el montaje posterior de las correspondientes instalaciones, según lo indicado por los datos recibidos desde el diseño del ordenador.

Con el otro brazo se permite la incorporación de refuerzos metálicos en los muros (Figura 7.4. (a)). A través de las pinzas se van ensamblando dichos refuerzos, que

constan de dos piezas, una roscada y otra que encaja sobre esta. Siguiendo el patrón de montaje descrito en las imágenes de la Figura 7.4. ((b) (c) (d)), para posteriormente verter el hormigón (Figura 7.4. (e) (f)) cubriendo las armaduras, y poder continuar con las siguientes.

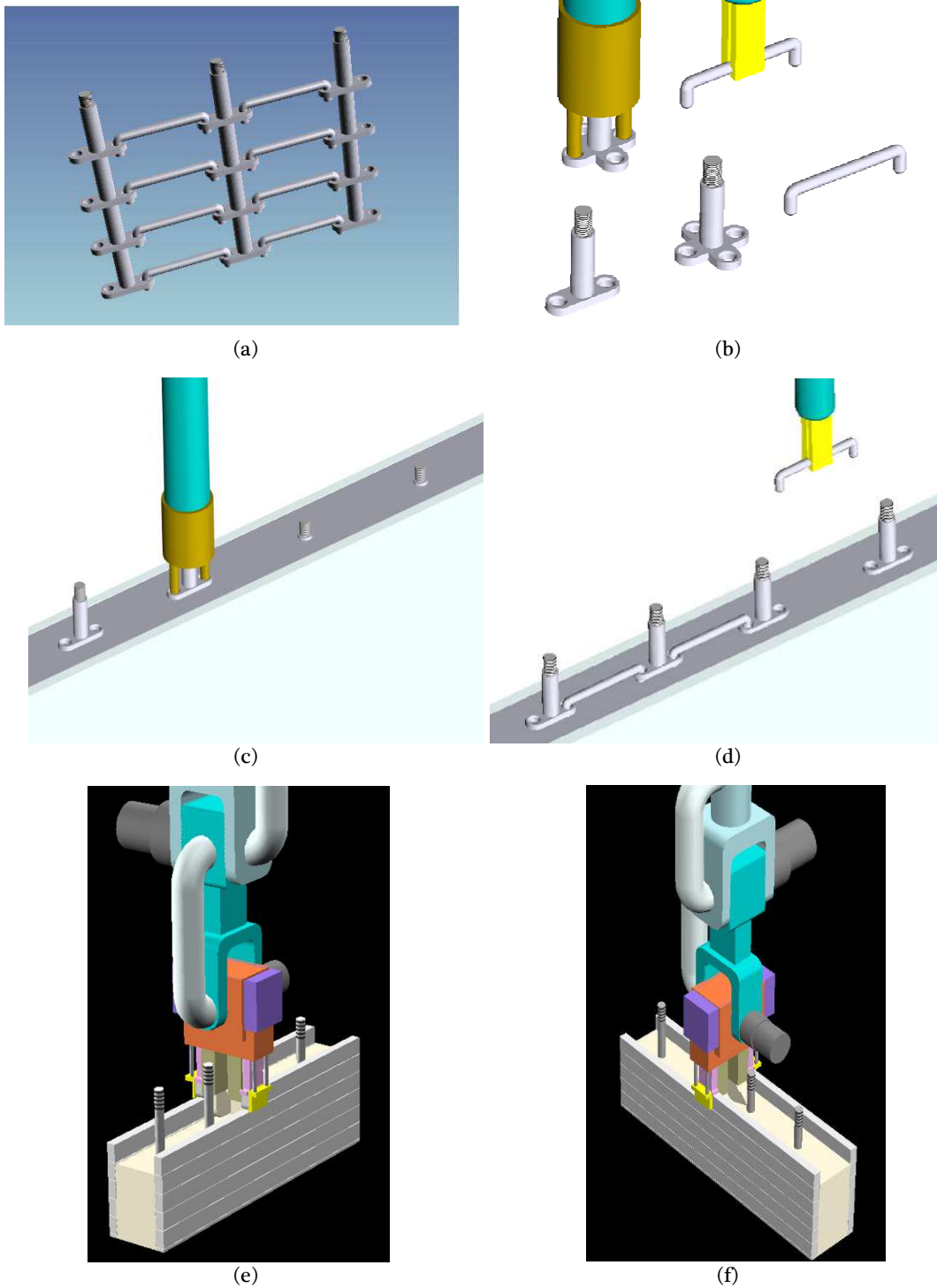


Figura 7.4. Componentes de refuerzo y procedimientos de montaje para paredes.
Fuente: Contour Crafting.

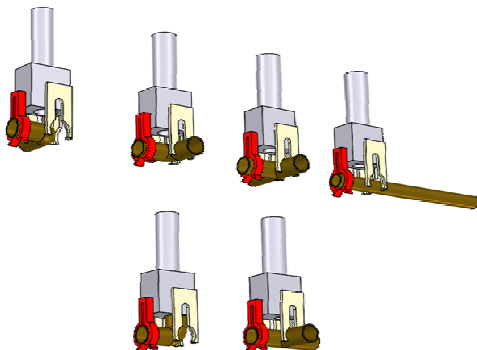
A modo de alternativa a estos refuerzos de metal se pueden utilizar otros materiales, tales como fibras de plástico reforzado. Para ello se podría utilizar la misma boquilla de inyección, formando así un refuerzo continuo consolidado de todos los materiales a depositar (Khoshnevis, 2004).

Como se comentó anteriormente la máquina permite crear los conductos de las instalaciones, para posteriormente proceder al emplazamiento de las mismas. Pues bien tras la realización del muro, se procederá a la ubicación de dichas instalaciones.

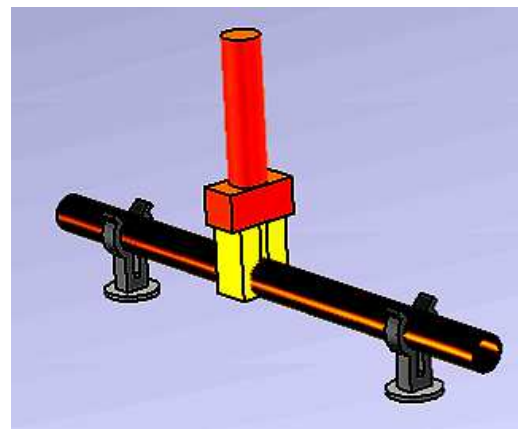
Con respecto a las instalaciones de fontanería, el brazo con unas pinzas distintas a las de la colocación de la armadura, inserta un segmento de tubería de cobre o una pieza de unión del mismo material en el interior de los conductos destinados para tal fin. Una vez que las piezas se encuentran alineadas será conveniente proceder a la unión de las mismas. Para llevar a cabo las uniones de las piezas estas disponen en el borde interno o externo de cada segmento de una capa de soldadura, la cual al calentarse, por el efecto de una de las piezas de las pinzas, se derrite generando una correcta conexión entre las piezas. Los materiales necesarios para el suministro de la máquina pueden predisponerse en una bandeja o cargador, destinado para tal fin, y desde ahí se irá suministrando la misma (Khoshnevis, 2004) (Figura 7.5. (a) (b) (c) (d)).

Una vez se han realizado todas las conexiones, se resguardan las tuberías con sus correspondientes protecciones para seguir inyectando cemento (Figura 7.5. (e) (f)).

La parte manual de la realización de las instalaciones de fontanería es la de la colocación de los grifos y accesorios.



(a)



(b)

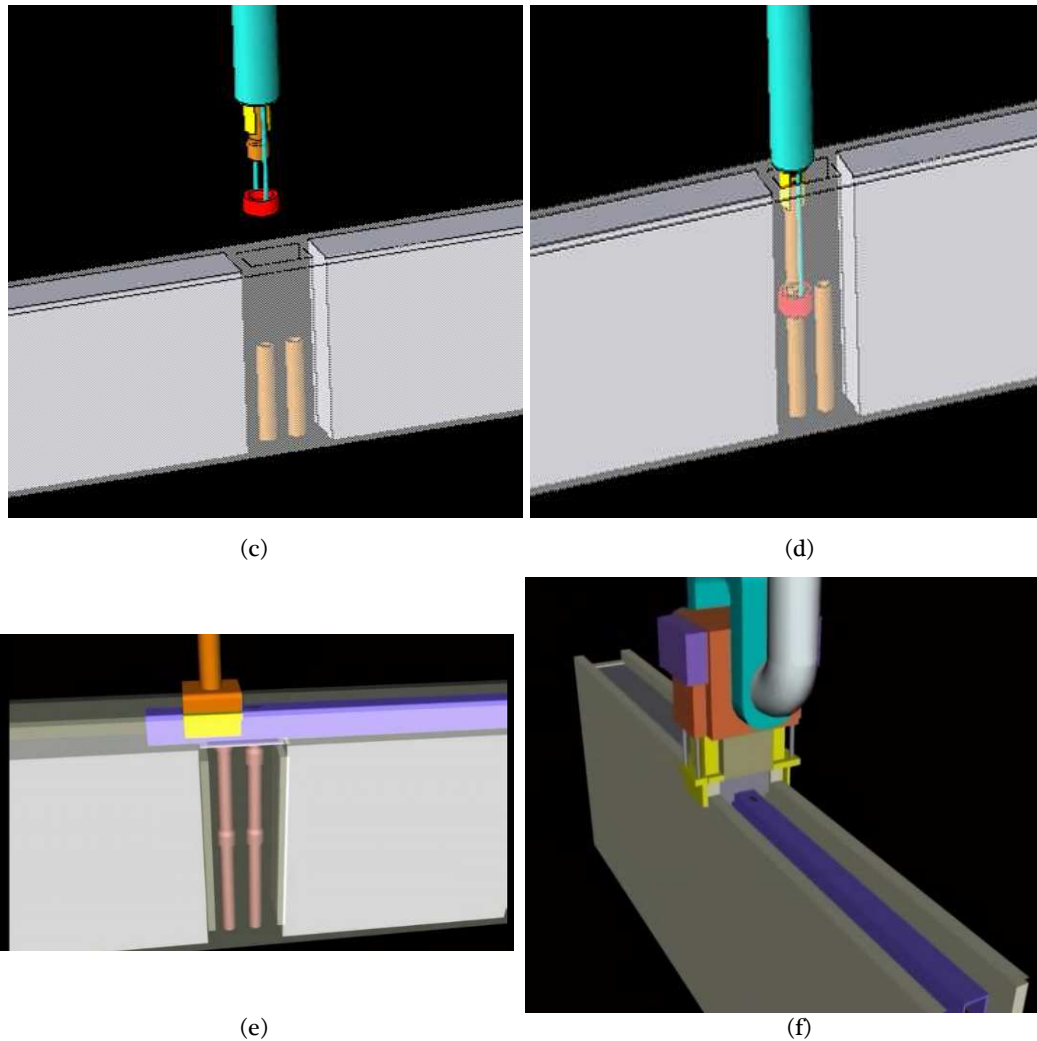


Figura 7.5. Sistema para la conexión de las instalaciones de fontanería. Fuente: Contour Crafting.

Así para el montaje de las instalaciones de electricidad y comunicación se utiliza un sistema similar a las barras colectoras industriales. Los módulos están compuestos de segmentos conductores que permiten la circulación de la corriente eléctrica a través de ellos, y se conectan de forma modular a través de una pinza que los sujeta (Figura 7.6. (a) (b)). Como ocurría en el caso de las instalaciones de fontanería, aquí también existiría una bandeja o cargador, mediante el cual se va suministrando a la máquina.

La única parte manual del sistema de la colocación de las instalaciones de electricidad y comunicación es la de la inserción de los enchufes a través de las aberturas de la pared (Figura 7.6. (c))

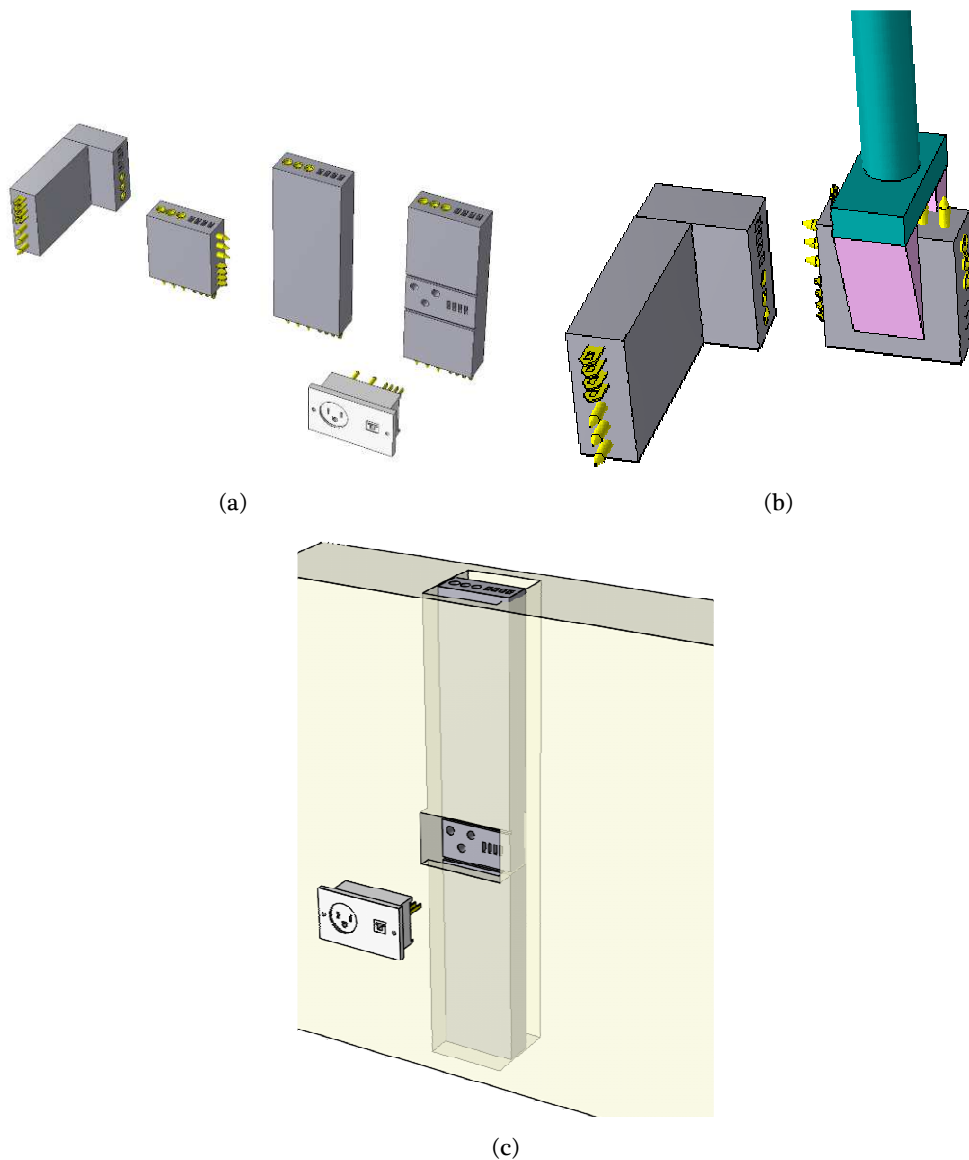


Figura 7.6. Sistema para la conexión de las instalaciones de electricidad y comunicación. Fuente: Contour Crafting.

Si bien cabe destacar que este modo de llevar a cabo las instalaciones es el expuesto por el Doctor Khoshnevis y su equipo de investigación, así que como sistema adicional se propone la colocación de dichas instalaciones fijando las mismas directamente al paramento, manualmente, para colocar a posteriori un trasdosado directo o autoportante, y que de esta forma estas instalaciones queden ocultas tras dicho trasdosado. Así se permite el fácil emplazamiento de las conducciones de fontanería, y la inserción de cajas y puntos de luz de modo sencillo.

Esta medida propuesta se plantea como una transición hacia la automatización, facilitando el acceso a los proveedores de materiales y beneficiando la adaptación de los trabajadores a la técnica.

Este sistema de impresora también permite la colocación de las baldosas cerámicas en suelos y de azulejos en las paredes, para ello necesita una boquilla (la de inyección) en la cual se colocará una boquilla que permita la extensión del material en la superficie para la adherencia de las baldosas en el suelo o en las paredes, y con el otro brazo puede recoger los azulejos de una bandeja o cargador, para colocarlos con una precisión casi exacta sobre el área tratada con el material adhesivo (Khoshnevis, 2004) (Figura 7.7. (a) (b)).

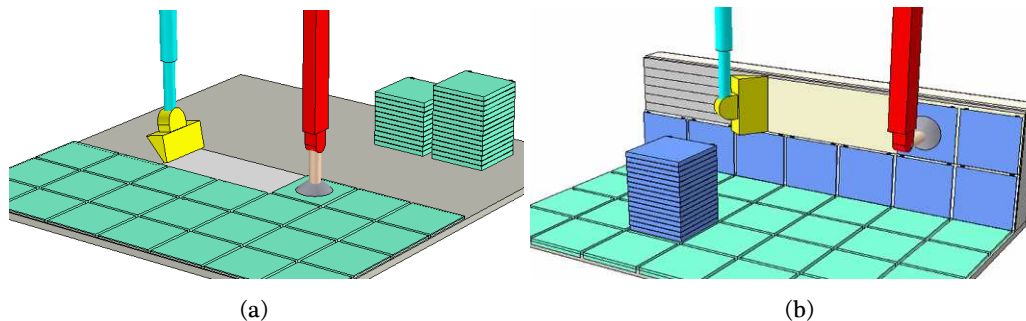


Figura 7.7. Sistema automatizado para la colocación del solado y del aplacado de las paredes. Fuente: Contour Crafting.

Tras la realización de los paramentos, tal es la calidad de la superficie realizada que estos no requieren ningún tratamiento especial antes de aplicar la pintura.

El procedimiento a seguir para el pintado de los paramentos es a través de la ayuda de una boquilla de pulverización o un cabezal de impresión de tinta, adjuntos a la estructura principal, que durante o tras la ejecución de los paramentos permite pintar cada pared de acuerdo a las especificaciones deseadas (Khoshnevis, 2004).

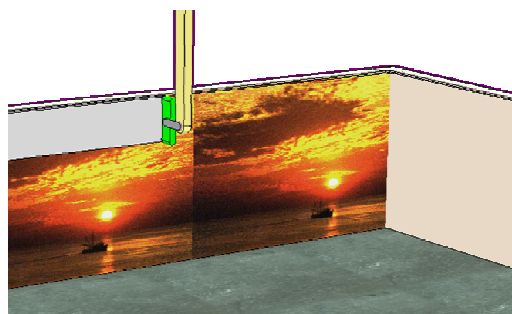


Figura 7.8. Sistema automatizado de pintado de paramentos. Fuente: Contour Crafting.

Para la colocación de los dinteles se utiliza el brazo que posee la pinza, para ubicar los mismos en el sitio exacto y poder continuar con la inyección de cemento, de manera que queden completamente integrados en el paramento.

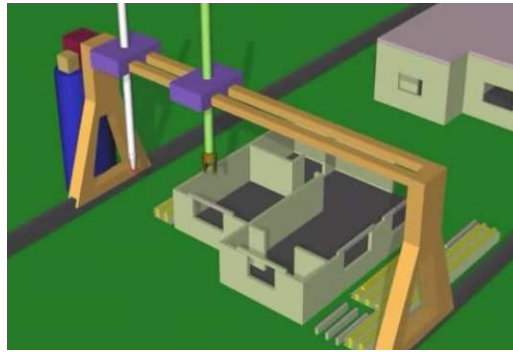
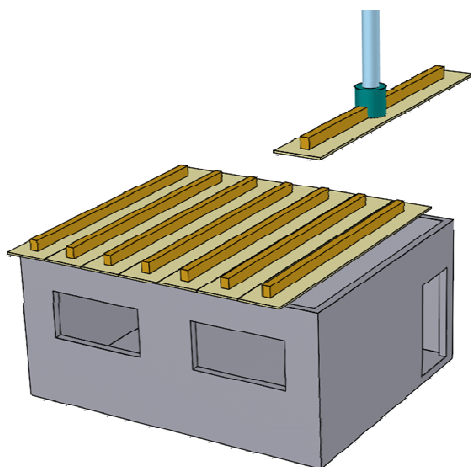


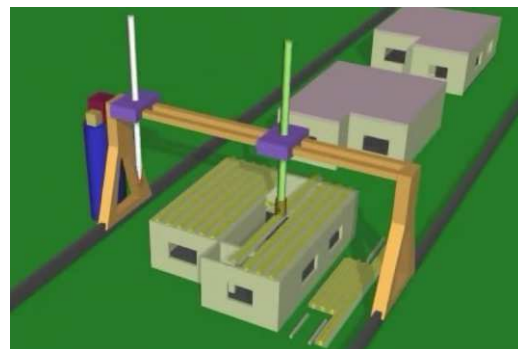
Figura 7.9. Sistema automatizado para la colocación de dinteles. Fuente: Contour Crafting.

Una vez completada la planta inferior se iniciará la colocación de las vigas de la planta superior, las cuales se colocan de manera que no sea necesario la utilización de encofrado inferior, ya que estas vienen complementadas para evitarlo. Para la colocación de las vigas se emplea el brazo con la pinza.

Después de haber colocado todas las vigas en el sitio correcto se dará comienzo a la inyección de cemento (por su correspondiente boquilla), hasta realizar toda la planta completa. A continuación se seguirá con los paramentos de la planta superior, tal y como se realizó la planta inferior, o bien se da por finalizada quedando como planta de cubierta.



(a)



(b)

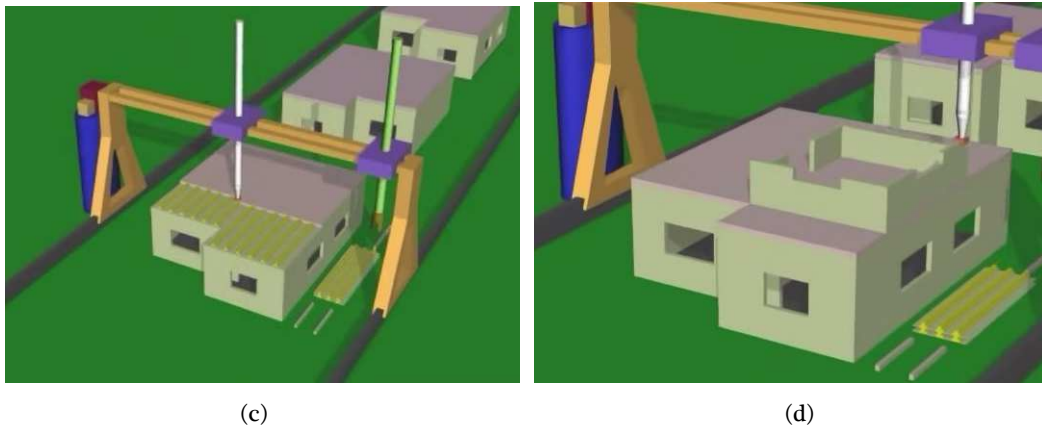


Figura 7.10. Ejecución de las estructuras. Fuente: Contour Crafting.

Este es el sistema seguido por la tecnología propuesta por Contour Crafting, que como se puede observar es un procedimiento bastante automatizado y con un rendimiento elevado, permitiendo (como se indicó anteriormente) que el tiempo de fabricación de una vivienda sea de 24 horas, aproximadamente.

Pero para finalizar las construcciones será necesario colocar las carpinterías (puertas y ventanas), proceso que se tiene que realizar a través de medios manuales, por lo tanto para la realización de esta fase la metodología a emplear es similar a la utilizada en el método tradicional.

7.2. Análisis de las características del sistema de impresión de viviendas en 3D.

Tras analizar el proceso constructivo a seguir por esta herramienta, será conveniente estudiar las características con las que cuenta este sistema.

Para comenzar, como ya se ha descrito, esta tecnología robótica se encuentra controlada por ordenador, lo que permite obtener una precisión casi exacta que sería impensable de conseguir a través del método tradicional. Debido a la naturaleza de los procesos seguidos por la máquina, los materiales son extruidos, lo que genera que la producción de ruido, de polvo y de residuos sea casi nula, así como también favorecería la reducción de emisiones nocivas (como se verá posteriormente), lo que conllevará a que estemos hablando de un proceso ecológico y sostenible.

Gracias a la automatización, los trabajadores no tendrán que arriesgar su integridad física, o incluso su vida, tras hacer tareas agotadoras y repetitivas. Por lo tanto la

reducción de lesiones implicará una mejora de la vida de los trabajadores, y al mismo tiempo disminuir los gastos derivados de dichos accidentes.

A continuación se van a enumerar una serie de ventajas que tiene este tipo de tecnología, para posteriormente igualmente exponer las desventajas de la misma.

Las ventajas de utilizar este sistema son:

- Casas de diseño personalizado construidas en un día.
- Impactos Ambientales.
 - Menos uso total de materiales.
 - Menor uso de energía, englobando todas las actividades del proceso constructivo.
 - Menos desperdicio de material y energía durante la impresión.
 - Menor coste de transporte de materiales, equipos y personas.
- Durante el proceso de construcción:
 - Menor cantidad de lesiones en la construcción y en las actividades relacionadas con el transporte de materiales, equipos o personas.
 - Menor contacto de los trabajadores con sustancias peligrosas.
 - Menor influencia de los operarios a sustancias que puedan ser transportadas por el aire, como el polvo y los productos químicos.
 - Menor exposición al ruido.
 - Más sencillo establecer procedimientos de actuación para peligros, así como mayor facilidad para analizar los fallos durante la construcción.
- Durante la fase de uso:
 - Edificios más eficientes, por tanto, un menor uso de energía en climatización.
 - Uso eficaz del espacio interior.

- Aumento de la resistencia estructural y de la durabilidad debido al menor uso de material que tenga la posibilidad de envejecer rápidamente.
- Aumento de la seguridad sísmica debido a la mejora del diseño de las construcciones.
- Vivienda asequible para poblaciones de bajos ingresos, ya que el costo de fabricación disminuye con respecto al del método tradicional.
- Posibilidad de reconstruir casas o comunidades que han sido víctimas de un desastre natural.

Enumeradas las ventajas se pasa a exponer los inconvenientes derivados del uso de este sistema:

- Como se ha dicho anteriormente, el movimiento de tierras y la cimentación se deben realizar siguiendo la metodología tradicional.
- Necesidad de instruir a los trabajadores con contenidos formativos de carácter técnico, para poder controlar la maquinaria.
- Uso elevado de la cantidad de cemento en todo el proceso, lo que aumenta la cantidad demandada de este material, y ello conlleva que la extracción de dicho material se incremente provocando efectos negativos, ya que dicha extracción tiene impactos negativos severos sobre el medio ambiente.
- Reducción de 45-55 % la mano de obra con respecto al método tradicional.

Por lo tanto tras estudiar las características del sistema de impresión de viviendas será conveniente preguntarse si realmente conlleva alguna mejora con respecto al sistema tradicional. Pues bien para resolver esa duda se ha elaborado la siguiente tabla en la cual se elabora una comparación de ambos métodos.

	Sistema tradicional	Impresora 3D viviendas
Tiempo de construcción	De 6 meses a 1 año	24 horas
Presupuesto de ejecución	Aprox. 750 €/m ² *	Aprox. 580 €/m ²
	Contour Crafting es capaz de realizarlo con un 20-25 % menos**	
Accidentes y lesiones	Gracias al sistema de impresión de viviendas se consigue reducir el número de lesiones y muertes.	
Materiales a emplear	Contour Crafting utiliza 25-30 % menos**	
Emisiones de CO ₂ y uso de energía	Esta parte se analiza en el siguiente apartado del presente Estudio	
Diseño de la vivienda	CC permite mayor facilidad de diseño, ya que la impresora se encarga de imprimir partes que serían impensables de realizar a mano	
Calidad	Desde Contour Crafting aseguran que la calidad es superior a las viviendas realizadas con el sistema tradicional, ya que el margen de error es casi nulo	

Tabla 7.1. Tabla de comparación de características del método de construcción tradicional frente al método de impresión de viviendas en 3D.

Fuente: Elaboración propia.

7.3. Emisiones de CO₂.

La utilización de este tipo de tecnología implica una serie de ventajas, tales como la reducción de costes, la flexibilidad de diseño, etc., entre las que se incluye la de menor utilización de energía durante el proceso de fabricación.

Estas ventajas favorecen, que en multitud de países con bajo costo de mano de obra, se favorezca la fabricación a gran escala de productos de plástico de bajo costo. Pero esto provoca que la producción global de 245 millones de toneladas de plástico aumente aproximadamente un 6 % por año. Por ello es necesario una reducción del impacto global del consumo de este material (Kreiger, Pearce, 2013).

* Presupuesto de ejecución material para una vivienda de características similares a la conseguida por el método de impresión en 3D, obtenido en función de los módulos de los Colegios Oficiales de Arquitectos.

** Datos obtenidos de la empresa Contour Crafting.

Por lo que será conveniente estudiar el comportamiento de las máquinas con el uso de los componentes del hormigón a la hora de la generación de emisiones de CO₂ y del empleo de energía, ya que supone un interrogante en cuanto a su impacto ambiental.

Para ello unos investigadores (Rahimi, Arhami, Khoshnevis, 2009) realizaron un análisis en el cual compararon el método tradicional de construcción con la tecnología de impresión de viviendas de Contour Crafting, cuantificando el ciclo de vida de la energía empleada y las emisiones de CO₂.

En dicho análisis se incluyeron los cálculos para construir las paredes de una vivienda comparando ambos métodos, obteniendo una serie de tablas en las que se resume las emisiones y energías consumidas por la actividad, tal y como se expone en la Figura 7.11.

Table 1: Summary of CO ₂ emissions (kg) by life-cycle phase			Table 2: Summary of embodied energy (GJ) by life-cycle phase		
Phase	CMU	CC	Phase	CMU	CC
Extraction, transportation and manufacturing	1.32E+05	1.27E+05	Extraction, transportation and manufacturing	7.92E+02	7.02E+02
To and on-site transportation	4.58E+05	1.97E+04	To and on-site transportation	2.90E+03	1.18E+03
On-site construction	-	1.46E+02	On-site construction	-	8.64E-01
Total	5.90E+05	1.47E+05	Total	3.69E+03	1.88E+03

Figura 7.11. Tablas de comparación de emisión de CO₂ y consumo de energía, entre el método tradicional (CMU) y el de impresión de viviendas (CC) (Rahimi, Arhami, Khoshnevis, 2009).

Pero para favorecer la comparación de ambas cantidades se redujo el cálculo para un pie cuadrado de pared, quedando los resultados según se muestra en la tabla 3.

Table 3: Embodied energy (GJ) and CO ₂ (kg) for a square foot of wall		
Environmental impact	CMU	CC
CO ₂	13.62	3.34
Embodied energy	0.08	0.04

Figura 7.12. Tablas de comparación de emisión de CO₂ y consumo de energía, entre el método tradicional (CMU) y el de impresión de viviendas (CC) por pie cuadrado de pared (Rahimi, Arhami, Khoshnevis, 2009).

Observando la tabla anterior se puede apreciar que tras utilizar el método de impresión en 3D las emisiones de CO₂ se pueden llegar a reducir un 75 % y el consumo de energía también se puede reducir en un 50 %, en comparación con el método tradicional.

El método tradicional supone más emisiones y mayor consumo de energía debido principalmente al transporte, a los procesos de construcción más largos y a las actividades relacionadas.

Pero también en dicho estudio se considera el uso de residuos sólidos para un pie cuadrado de pared, llegando a deducir que se produce un descenso de una séptima parte de los mismos cuando se emplea el método de impresión en 3D con respecto al uso del tradicional.

Table 4: Solid wastes (kg/ft ²) during manufacturing and construction phases		
Phase	CMU	CC
Manufacturing		
Concrete solid waste	3.89E-02	1.38E-02
Blast furnace dust	1.19E-03	1.17E-03
Blast furnace slag	5.80E-03	5.70E-03
Sub-total	4.59E-02	2.06E-02
Construction		
Concrete solid waste	9.81E-02	0.00E+00
Sub-total	9.81E-02	0.00E+00
Total	1.44E-01	2.06E-02

Figura 7.13. Tablas de comparación de generación de residuos sólidos, entre el método tradicional (CMU) y el de impresión de viviendas (CC) por pie cuadrado de pared (Rahimi, Arhami, Khoshnevis, 2009).

Tras el estudio de todos estos datos se puede concluir que el uso de la impresión de viviendas en 3D acarrea un menor uso total de materiales, menor cantidad de energía, menor emisión de CO₂, menor transporte de material, menor cantidad de equipos y mano de obra.

7.4. Análisis de los riesgos por fase de obra. Método de impresión de viviendas en 3D.

– **Movimiento de tierras.**

A la hora de realizar esta fase, como se ha dicho con anterioridad, se completará utilizando las mismas pautas que las del método tradicional, así que los riesgos más comunes serán iguales.

– **Cimentación.**

En esta fase pasaría una situación similar a la de la anterior. Puesto que se tiene que realizar con métodos manuales los riesgos coincidirán con las tomadas en el método tradicional.

– **Montaje y desmontaje de la máquina.**

Tras haber preparado el terreno y una vez se ha realizado la cimentación se procederá a la ubicación de la máquina. Para ello se sitúan dos raíles entre los que va a circular la misma.

Previo a ello habrá sido necesario cargar la máquina en el camión que la desplazará hasta el lugar de trabajo para posteriormente proceder al montaje de la misma y la posterior puesta en funcionamiento. Para el montaje será conveniente el uso de maquinaria auxiliar, como por ejemplo una grúa móvil, para el manejo y colocación de las partes de la impresora.

Los riesgos específicos que se pueden dar durante la ejecución de la presente fase son:

- Atrapamiento o aplastamiento por o entre objetos, mientras se descargar y se monta la máquina.
- Caída del personal al mismo nivel.
- Golpes y contusiones en general.

- Sobreesfuerzos por manipulación de material, durante descarga y montaje del mecanismo.
- Caídas de objetos a distinto nivel.
- Contactos eléctricos directos con líneas eléctricas aéreas.
- Atropellos producidos por maquinaria.

Como medidas preventivas:

- ◆ Evitar el acceso del personal a la zona de actuación, para evitar percances.
- ◆ El personal dispondrá de los equipos de protección individual necesarios, tales como cascos, ropa de trabajo, botas de suela dura, etc.
- ◆ La carga debe engancharse correctamente cuando se utilice la grúa para montar o desmontar la impresora, debiendo constar el gancho con el correspondiente pestillo de seguridad.
- ◆ Se debe prohibir el paso de personal por debajo de la carga cuando esta se encuentra suspendida.
- ◆ Para evitar la caída de personal al mismo nivel será conveniente mantener el orden y la limpieza en las zonas de trabajo.

– **Fase de funcionamiento de la máquina.**

Una vez instalada la impresora, se configurará para que comience a trabajar. Si bien será necesario suminístrale el material, y como se dijo anteriormente cuando se describió el funcionamiento del sistema, los materiales pueden llegar mezclados directamente o sin mezclar y la propia máquina realizará la mezcla. El suministro hormigón puede venir de fábrica y en su defecto se abastecería a través de camión hormigonera.

Como riesgos específicos que se puedan dar en esta fase son:

- Atrapamiento o aplastamiento por o entre objetos.
- Vuelco o caída de la máquina.
- Caída del personal al mismo nivel.

- Realizar el trabajo sin el debido conocimiento de la máquina.
- Contactos eléctricos directos.
- Atropellos producidos por el movimiento de la impresora por los raíles.

Como medidas preventivas:

- ◆ La zona de trabajo debe estar debidamente señalizada y el personal informado del riesgo.
- ◆ Previo a la puesta en funcionamiento se realizarán las pertinentes revisiones, de cableado y accesorios. Y tras su uso se revisará y se limpiará.
- ◆ Evitar el acceso del personal a la zona de actuación de la máquina, para evitar percances.
- ◆ El personal dispondrá de los equipos de protección individual necesarios, tales como cascos, ropa de trabajo, botas de suela dura, etc.
- ◆ Los operarios encargados del control de la máquina deberán garantizar que se encuentran aptos para el trabajo a desempeñar, y deberán conocer exactamente las normas de seguridad referentes al manejo de la misma.
- ◆ Comprobar que las vías por donde se desplazará la impresora tienen sus correspondientes topes de seguridad.
- ◆ Para evitar la caída de personal al mismo nivel será conveniente mantener el orden y la limpieza en las zonas de trabajo.

– **Instalaciones.**

Como sucede en la descripción de los riesgos del método tradicional en esta fase también se englobarán todas las actividades correspondientes a las instalaciones de fontanería, electricidad y comunicación en un mismo apartado.

Puesto que esta fase está realizada por la impresora los riesgos serán similares a los de la fase anterior. Pero hay que añadir que hay algunas partes de esta fase que se deben realizar a mano, como son por ejemplo la colocación de los

aparatos sanitarios y la colocación de los embellecedores para el sistema de electricidad.

Algunos de los riesgos que se pueden presentar al realizar estas actividades son:

- Cortes y heridas.
- Caídas de personal al mismo nivel.
- Contactos eléctricos directos o indirectos.
- Golpes y contusiones en general.

Para intentar mitigar estos riesgos, se tendrán en cuenta las siguientes medidas preventivas:

- ◆ El personal dispondrá de los equipos de protección individual necesarios, tales como cascos, ropa de trabajo, guantes de trabajo, botas de seguridad, etc.
- ◆ Para evitar contactos eléctricos, se asegurará que todos los trabajos se realicen siempre sin tensión. Las pruebas de tensión se realizarán una vez se hayan terminado todos los trabajos, y se hayan comprobado el acabado de las mismas.

– **Acabados.**

Tal y como sucede en la fase de instalaciones, la impresora es capaz de realizar casi el total de toda esta etapa, incluyendo la colocación de pavimentos, alicatados y pintado de paramentos.

Solo restaría para la completa ejecución de esta fase el emplazamiento de las carpinterías y de sus correspondientes vidrios.

Pero los riesgos más comunes que se pueden presentar en la colocación de las carpinterías y de los vidrios han sido estudiados en los apartados anteriores, para su consulta ver el punto 6.2. del presente Estudio, sección de “Acabados”.

8. Resultados.

8. Resultados.

Una vez analizada la situación actual del sector de la construcción, y tras haber estudiado los riesgos presentes en la construcción de viviendas a través del sistema tradicional y a través del sistema propuesto en este Estudio, se va a proceder a elaborar una tabla resumen en la cual se realiza una comparación de los riesgos de ambos métodos, y gracias a ella se puedan apreciar que con la tecnología que se propone se consigue reducir el número de riesgos presentes.

Fase de ejecución	Sistema tradicional	Impresora 3D viviendas
Movimiento de tierras	<ul style="list-style-type: none"> • Durante la limpieza y desbroce del terreno los trabajadores pueden sufrir picaduras, golpes o atrapamientos, así como la proyección de ramas o astillas. • Desprendimientos de tierras. • Vuelco y atropellos producidos por maquinaria. • Afecciones o desplomes de edificaciones colindantes o viales. 	
Cimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Caída del personal al interior de cimentación con el peligro de que se pueda clavar en la armadura. • Proyecciones de material durante el vertido del hormigón. • Atrapamiento o aplastamiento por o entre objetos o máquinas. • Golpes por caídas de materiales, objetos o herramientas. • Cortes provocados por la manipulación de la armadura. • Contactos eléctricos indirectos con maquinaria de obra. 	
Estructuras	<ul style="list-style-type: none"> • Desprendimientos de objetos y material por mal apilado. • Desprendimiento de material durante las maniobras de izado. • Caída del personal al mismo nivel y distinto nivel. • Cortes al preparar el material para los encofrados. • Pisadas sobre objetos punzantes. • Atrapamiento o aplastamiento por o entre objetos o máquinas. • Proyección de fragmentos o partículas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Atrapamiento o aplastamiento por o entre objetos, mientras se descargar y se monta la máquina. • Caída del personal al mismo nivel. • Golpes y contusiones en general. • Sobreesfuerzos por manipulación de material, durante descarga y montaje del mecanismo. • Caídas de objetos a distinto nivel. • Contactos eléctricos directos con líneas eléctricas aéreas. • ...

Fase de ejecución	Sistema tradicional	Impresora 3D viviendas
Estructuras	<ul style="list-style-type: none"> • Golpes y contusiones en general. • Cortes y heridas por la manipulación del acero. • Sobreesfuerzos por manipulación de material. • Caídas de objetos a distinto nivel. • Contactos con el hormigón, que deriven en dermatitis. • Vibraciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • ... • Atropellos producidos por maquinaria. • Atrapamiento o aplastamiento por o entre objetos. • Vuelco o caída de la máquina. • Realizar el trabajo sin el debido conocimiento de la máquina. • Contactos eléctricos directos. • Atropellos producidos por el movimiento de la impresora por los raíles.
Cubiertas	<ul style="list-style-type: none"> • Caídas de personal al mismo y distinto nivel. • Caídas de objetos a distinto nivel. • Contactos eléctricos directos con líneas eléctricas aéreas. • Cortes y heridas. • Manipulación de productos químicos. 	
Obras de fábrica	<ul style="list-style-type: none"> • Contactos con el hormigón, que deriven en dermatitis. • Cortes y heridas. • Sobreesfuerzos por manipulación de material. • Atrapamiento o aplastamiento por o entre objetos o máquinas. • Caídas de personal al mismo y distinto nivel. • Caídas de objetos a distinto nivel. • Pisadas sobre objetos punzantes. • Proyección de fragmentos o partículas. • Contactos eléctricos directos o indirectos. • Cuerpos extraños en ojos. • Golpes y contusiones en general. • Derrumbamientos. 	

Fase de ejecución	Sistema tradicional	Impresora 3D viviendas
Instalaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Cuerpos extraños en ojos. • Cortes y heridas. • Caídas de personal al mismo y distinto nivel. • Caídas de objetos a distinto nivel. • Contactos eléctricos directos o indirectos. • Golpes y contusiones en general. • Quemaduras. 	<p>Esta fase se realizará mecánicamente, exceptuando las actividades para la finalización de las instalaciones, que conllevan los siguientes riesgos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cortes y heridas. • Caídas de personal al mismo nivel. • Contactos eléctricos directos o indirectos. • Golpes y contusiones en general.
Acabados	<ul style="list-style-type: none"> • Cortes y heridas. • Sobreesfuerzos por manipulación de material. • Caídas de personal al mismo y distinto nivel. • Caídas de objetos a distinto nivel. • Pisadas sobre objetos punzantes. • Proyección de fragmentos o partículas. • Cuerpos extraños en ojos. • Golpes y contusiones en general. • Desprendimientos. • Contactos con el hormigón, que deriven en dermatitis. • Atrapamiento o aplastamiento por o entre objetos o máquinas. • Contactos eléctricos directos o indirectos. • Quemaduras físicas y químicas. • Atmosferas tóxicas, irritantes. 	<p>Esta fase se realizará mecánicamente, exceptuando las actividades para la colocación de las carpinterías y de los vidrios.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cortes y heridas. • Sobreesfuerzos por manipulación de material. • Caídas de personal al mismo y distinto nivel. • Caídas de objetos a distinto nivel. • Pisadas sobre objetos punzantes. • Proyección de fragmentos o partículas. • Cuerpos extraños en ojos. • Golpes y contusiones en general. • Desprendimientos.

Tabla 8.1. Tabla de comparación de riesgos que se pueden dar durante las fases de ejecución entre el método de tradicional frente al método de impresión de viviendas en 3D.

Fuente: Elaboración propia.

9. Conclusiones.

9. Conclusiones.

Después de haber concluido el desarrollo de la trama principal del presente Trabajo, orientado al análisis de la integración de la prevención en la construcción de viviendas con impresoras en 3D, y tras haber comparado este sistema propuesto con el sistema tradicional, se puede afirmar que gracias al avance y a la mejora de la tecnología se puede llegar a dar solución a uno de los principales problemas a los que se enfrenta el sector constructivo, tal y como es la elevada siniestralidad existente en el mismo.

Aunque hay que añadir que es un tema de reciente investigación, por lo que todavía es difícil encontrar información al respecto, y es debido a esto por lo que se han encontrado algunas limitaciones en cuanto a la obtención de dicha documentación.

Lo que se ha intentado es realizar un sondeo sobre algún tema que suponga una revolución en el sector de la construcción, que mejore los índices de siniestralidad, que reduzca el costo de la vivienda, que minore el consumo de energía y la producción de residuos, y todo esto se ha conseguido gracias a la invención de esta tecnología propuesta.

Por lo que para finalizar cabe destacar que el sistema de construcción de viviendas con impresoras 3D permite la construcción de una vivienda de unos 200 m² en pocas horas, aumentando la eficiencia de la construcción y reduciendo el consumo de recursos, las emisiones nocivas (ya que es eléctrica), admite la construcción de diseños complejos, el precio de construcción, así como los índices de siniestralidad.

El trabajo desarrollado por Contour Crafting es uno de los primeros pasos hacia la obtención de un procedimiento capaz de realizar edificaciones a gran escala, sistematizando el sistema, favoreciendo la mejora de la gestión y la eficacia en el sector de la construcción.

10. Futuras líneas de investigación.

10. Futuras líneas de investigación.

A modo de futuras líneas de investigación a desarrollar, se presentan aquellos aspectos que no han sido abordados en este Estudio con la intención de esclarecer más la situación con respecto al tema que se presenta.

En primer lugar, realizar estudios sobre la viabilidad de construir bloques de viviendas, o estructuras de mayores dimensiones, así como obras de urbanización, a través de la tecnología descrita en este Estudio.

Otro tema importante, en el que merece la pena profundizar es el análisis de la legalidad del uso de esta tecnología de impresión en 3D, incluyendo la adaptación a la normativa actual, tanto a la hora del empleo, como en el tema de seguridad.

Por ultimo como futura línea de investigación, se presenta la del estudio de la posibilidad de la impresión no solo de muros de hormigón, sino que también planchas de yeso, material para aislamiento, y otros materiales utilizados en la construcción.

11. Bibliografia.

11. Bibliografía.

- Anderson, M. E., Galecka, C. (2014). Introducción a la prevención a través del diseño. *Professional Safety*. March 2014, pp 63-65.
- Arevalo, C. (2013). Integración de la prevención en el diseño de obras de construcción: relación con la siniestralidad laboral, análisis de su regulación normativa, bases conceptuales y desarrollo internacional. *Informes de la Construcción*. Vol. 65, pp 325-334.
- Balaguer, C. (2000). Open issues and future possibilities in the EU construction automation. *Proc. 17th Int. Symp. Automation and Robotics in Construction (ISARC'00)*, Taipei, Taiwan, pp 21-32.
- Balaguer, C., et al. (2002). FutureHome: An integrated construction automation approach. *IEEE Robotics & Automation magazine*, vol. 9 (1), pp 55-66.
- Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, Vol. 55, Issue 2, March–April 2012, pp 155-162.
- Bradshaw, S., Browyer, A., Haufe, P. (2010). The intellectual property implications of low-cost 3D printing. *ScriptEd*, 7 (1), pp 5-31.
- Cuéllar, A. (2015). Impresoras 3D y la medicina. *Convención Salud 2015, X Congreso Informática en Salud*. La Habana, Cuba.
- Domínguez, I. A., Romero, L., Espinosa, M. M., Domínguez, M. (2013). Impresión 3D de maquetas y prototipos en arquitectura y construcción. *Revista de la Construcción*, Vol. 12, Nº 2, pp 39-53.
- Durán, F. (2008, 12 de febrero). Siniestralidad en la construcción. *Cinco Días*. http://cincodias.com/cincodias/2008/02/12/economia/1202932544_850215.html
- Fundación MUSAAT. (2012). Investigación sobre factores relacionados con los accidentes laborales mortales en el sector de la edificación. Cuatrienio 2008-2011. http://www.fundacionmusaat.musaat.es/files/Sumatorio2008_2011.pdf
- Gambatese, J. A. (2000). Designing for safety. *Construction safety and health Management*. pp 169-192.
- Gambatese, J. A., Behm, M., Hinze, J. (2005). Viability of Designing for Construction Worker Safety. *Journal of Construction Engineering and Management*. September 2005, pp 1029-1036.

- INSHT. (2013). Informe anual de accidentes de trabajo en España 2013. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*. <http://www.oect.es/Observatorio/3%20Siniestralidad%20laboral%20en%20cifras/Informes%20anuales%20de%20accidentes%20de%20trabajo/Ficheros/Informe%20anual%20de%20AT%20en%20Espa%C3%B1a%202013.pdf>
- Khoshnevis, B. (1998). Innovative rapid prototyping process makes large sized, smooth surface, complex shapes in a wide variety of materials. *Materials Technology*, Vol. 13, pp 52-63.
- Khoshnevis, B. (2004). Automated construction by Contour Crafting – Related robotics and information technologies. *Journal of Automation in Construction – Special Issue: The best of ISARC 2002*, Vol 13, Issue 1, January 2004, pp 5-19.
- Kreiger, M., Pearce, J. M. (2013). Environmental Life Cycle Analysis of Distributed Three-Dimensional Printing and Conventional Manufacturing of Polymer Products. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*: Vol. 1, pp 1511-1519.
- Lipson, H., & Kurman, M. (2015). *La revolución de la impresión en 3D*. España: Ediciones Anaya Multimedia (Grupo Anaya, S. A).
- López Alonso, M., Ibarrondo Dávila, P., Rubio Gámez, M^a C. (2015). Análisis de los costes de prevención en obras de construcción. *Informes de la Construcción* Vol. 67.
- Lorent, P., et al. (1989). Impacto de la proposición de Directiva «obras temporales o móviles» sobre la formación en Seguridad. *Fundación Dublín*.
- Rahimi, M., Arhami, M., Khoshnevis, B. (2009). Crafting Technologies. *Times Journal of Construction and Design*. April 2009, pp 30-32.
- Rubio Romero, J. C., & Rubio Gámez, M^a C., et al. (2005). *Manual de Coordinación de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción*. España: Díaz de Santos.
- Warszawski, A., & Navon, R. (1998). Implementation of robotics in buildings: current status and future prospects. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 124 (1), pp 31-41.

Páginas Web

- 3D Print: <http://3dprint.com/>
- 3D Print Canal House: <http://3dprintcanalhouse.com/>
- 3D System: <http://www.3dsystems.com/>
- Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo: <https://osha.europa.eu/es>
- Construmática. <http://www.construmatica.com/index.php>
- Contour Crafting: <http://www.contourcrafting.org/>
- D-Shape: <http://www.d-shape.com/>
- DUS Architects: <http://www.dusarchitects.com/>
- EOS: <http://www.eos.info/en>
- Fastbrick Robotics: <http://www.fastbrickrobotics.net/>
- Fundación MUSAAT. <http://www.fundacionmusaat.musaat.es/>
- Instituto Nacional de Estadística: <http://www.ine.es/>
- Makerbot: <http://www.makerbot.com/>
- Ministerio de Empleo y Seguridad Social: <http://www.empleo.gob.es/index.htm>
- Stratasys: <http://www.stratasys.com/>
- WinSun Decoration Design Engineering Co.:
<http://www.yhbm.com/index.php?siteid=3>

i. Índice de tablas.

	Pág.
Tabla 6.1. Accidentes de trabajo con baja en el sector de la construcción en el periodo 2003-2014.	35
Tabla 7.1. Tabla de comparación de características del método de construcción tradicional frente al método de impresión de viviendas en 3D.	64
Tabla 8.1. Tabla de comparación de riesgos que se pueden dar durante las fases de ejecución entre el método tradicional frente al método de impresión de viviendas en 3D.	72

ii. Índice de figuras.

	Pág.
Figura 5.1. Impresora de adición.	19
Figura 5.2. Proceso de impresión llevado a cabo por la impresora 3D de CADdy.	20
Figura 5.3. MakerBot Cupcake CNC. Precursora del Thing-O-Matic.	22
Figura 5.4. Esquema de árbol para crear la edificación a través del método FutureHome.	26
Figura 5.5. Impresora 3D de D-Shape y estructura impresas por la misma.	27
Figura 5.6. Herramientas comunes utilizadas por los artesanos.	28
Figura 5.7. Componentes de la boquilla de la impresora de Contour Crafting.	28
Figura 5.8. Ejemplo de funcionamiento de la impresora de Contour Crafting para la creación de muros.	29
Figura 5.9. Proyectos de WinSun, arriba el edificio de cinco plantas y abajo la villa de 1.100 metros.	30
Figura 5.10. Proceso de ensamblaje de piezas de la compañía WinSun.	31
Figura 5.11. Impresora 3D KameMaker.	32
Figura 5.12. Robot Hadrian de Fastbrick Robotics.	33
Figura 6.1. Índices de incidencia sectoriales en el año 2014.	36
Figura 6.2. Índices de incidencia sectoriales en el año 2013.	37
Figura 6.3. Índices de incidencia en el sector de la construcción para los periodos entre 2003 a 2014.	38
Figura 6.4. Encuesta de población activa para los periodos entre 2002 a 2015.	38
Figura 6.5. Encuesta de población activa en el sector de la construcción para los periodos entre 2008 a 2015.	39
Figura 6.6. Porcentaje de accidentes según fase de obra.	43
Figura 6.7. Porcentaje de accidentes mortales según fase de obra.	44
Figura 7.1. Impresora 3D de viviendas.	53
Figura 7.2. Proceso de instalación de la impresora 3D en el lugar de trabajo.	53
Figura 7.3. Proceso de impresión de cerramientos.	54
Figura 7.4. Componentes de refuerzo y procedimiento de montaje para paredes.	55

Figura 7.5. Sistema para la conexión de las instalaciones de fontanería.	56
Figura 7.6. Sistema para la conexión de las instalaciones de electricidad y comunicación.	58
Figura 7.7. Sistema automatizado para la colocación del solado y del aplacado de las paredes	59
Figura 7.8. Sistema automatizado de pintado de paramentos.	59
Figura 7.9. Sistema automatizado para la colocación de dinteles.	60
Figura 7.10. Ejecución de las estructuras.	60
Figura 7.11. Tablas de comparación de emisión de CO ₂ y consumo de energía, entre el método tradicional (CMU) y el de la impresión de viviendas (CC).	65
Figura 7.12. Tablas de comparación de emisión de CO ₂ y consumo de energía, entre el método tradicional (CMU) y el de la impresión de viviendas (CC) por pie cuadrado de pared.	65
Figura 7.13. Tablas de comparación de generación de residuos sólidos, entre el método tradicional (CMU) y el de la impresión de viviendas (CC) por pie cuadrado de pared.	66