



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo: Fabricación Aditiva de Edificios

Autor

Irene Sánchez Quiles

Director/es

Director académico: Roberto Jiménez Pacheco

Director militar: Capitán Álvaro Millán Panadero

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

Año 2021-2022

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera expresar mi gratitud al Regimiento de Ingenieros n.º 8 por su compromiso durante las Prácticas de Mando. El haber podido realizar parte del Trabajo de Fin de Grado allí, y tratar con personas de diferentes rangos, obteniendo así diferentes puntos de vista, me ha permitido vivir experiencias y conocer aspectos realmente útiles para la realización del mismo.

Al Capitán Álvaro Millán Panadero, director militar, y al Dr. Roberto Jiménez Pacheco, director académico, por su apoyo y guía durante todo el proceso. Agradecer a todo el equipo de Be More 3D, destacando a Vicente Ramírez, CEO de la empresa y a Juan García, miembro de HC3D, por su gran atención y por la inmejorable ayuda que me han otorgado cada vez que lo he necesitado, resolviendo cualquier duda que me ha ido surgiendo a lo largo de todo el proceso.

Finalmente, me gustaría agradecer a mi familia, fundamentalmente a mi madre y mis hermanas que me han apoyado durante todos estos años y siempre me han animado a esforzarme durante todo este tiempo.

RESUMEN

El área tecnológica está evolucionando a un ritmo cada vez mayor, aspecto que afecta a las Fuerzas Armadas españolas. Concretamente, el Ejército de Tierra ha puesto en marcha un plan de adaptación y evolución de sus medios a las nuevas tecnologías que ofrece el mercado, "Fuerza 2035", el cual tiene como objetivo, no perder de vista ningún avance de aplicación militar para evitar quedar retrasado tecnológicamente respecto a otros ejércitos. La Fabricación Aditiva es una de las muchas existentes, que, aplicada al ámbito de la construcción de infraestructuras, proporciona una serie de ventajas y mejoras, como alternativa al método de construcción actual. El Ejército de Estados Unidos ha servido de ejemplo al haber iniciado la aplicación de esta tecnología obteniendo grandes beneficios.

En el presente trabajo, tras la realización de una investigación inicial sobre este método tan novedoso, se han analizado las consecuencias que tendría su empleo y posterior adquisición por parte del Ejército de Tierra, concretamente en las Unidades de Ingenieros, para conocer si realmente aporta las ventajas necesarias y que merezca la pena hacerse con esta tecnología. Para ello, se ha llevado a cabo un análisis de los puntos débiles, puntos fuertes y riesgos que supone para una Unidad de Ingenieros el empleo de las impresoras 3D. A continuación, se ha llevado a cabo un análisis de la oferta comercial, para conocer las variantes de este sistema que existen en el mercado y cual se adapta mejor a las necesidades de las Fuerzas Armadas (FFAA). Se ha realizado una comparación de ambos métodos, construcción convencional y construcción aditiva, de un proyecto concreto llevado a cabo por el Regimiento de Ingenieros número 8 de Melilla y, por último, se ha estudiado los efectos que tendría el empleo de esta tecnología en zona de operaciones.

Finalmente, se llegó a la conclusión de que la implementación de esta tecnología aportaría grandes beneficios a la unidad, ya que el uso de esta permitiría una reducción importante de los medios logísticos, económicos, temporales y de personal que necesitan las unidades para el cumplimiento de las misiones encomendadas. Sin embargo, existen ciertos factores que afectan a su aplicación con total éxito debido a que se trata de una innovación emergente, en pleno desarrollo y que se irán definiendo a medida que vaya evolucionando.

PALABRAS CLAVE

Fabricación Aditiva

Impresión 3D

Construcción de infraestructuras

Unidad de Ingenieros

Ejército de Tierra.

ABSTRACT

The technological area is evolving at an ever-increasing rate, an aspect that affects the Spanish Armed Forces. Specifically, the Army has launched a plan to adapt and evolve its resources to the new technologies offered by the market, "Force 2035", which aims not to lose sight of any advance of military application to avoid be technologically behind other armies. Additive Manufacturing is one of the many existing ones, which, applied to the field of infrastructure construction, provides a series of advantages and improvements, as an alternative to the current construction method. The United States Army has served as an example by starting the application of this technology with great benefits.

In the present work, after carrying out an initial investigation on this very novel method, the consequences of its use and subsequent acquisition by the Army, specifically in the Engineering Units, have been analysed to know if it really provides the Necessary and worthwhile advantages to get this technology. For this, an analysis of the weak points, strong points and risks that the use of 3D printers represents for an Engineers Unit has been carried out. Next, an analysis of the commercial offer has been carried out, to know the variants of this system that exist in the market, and which one is better adapted to the needs of the Armed Forces (Armed Forces). A comparison of both methods, conventional construction and additive construction, has been made of a specific project carried out by the Engineers Regiment number 8 of Melilla and, finally, the effects that the use of this technology would have in the area has been studied. of operations.

Finally, it was concluded that the implementation of this technology would bring great benefits to the unit, since the use of it would allow a significant reduction in the logistical, economic, temporal and personnel resources that the units need to comply with the missions entrusted. However, there are certain factors that affect its application with total success because it is an emerging innovation, in full development and that will be defined as it evolves.

KEYWORDS

Additive Manufacturing

3d print

Infrastructure construction

Engineers Unit

Army.

INDICE

RESUMEN	5
PALABRAS CLAVE	5
ABSTRACT	7
KEYWORDS	7
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	2
2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE	2
2.2. METODOLOGÍA.....	2
3. ESTADO DEL ARTE	3
3.1. ¿QUÉ ES LA FABRICACIÓN ADITIVA?.....	3
3.1.1. HISTORIA.....	3
3.1.2. CARACTERÍSTICAS.....	4
3.1.3. APLICACIONES	5
3.2. CONSTRUCCIÓN ADITIVA	7
3.2.1. ANTECEDENTES	8
3.2.2. TIPOS DE IMPRESORAS.....	8
3.2.3. HORMIGÓN IMPRESO	10
3.2.4. APLICACIONES	10
3.2.5. UNIDADES DE ESPECIALIDADES DE INGENIEROS	13
4. DESARROLLO	13
4.1. ANÁNILIS DAFO	13
4.2. ANÁLISIS DE RIESGOS	15
4.2.1. ANÁLISIS CUALITATIVO.....	15
4.3. ESTUDIO DE PROVEEDORES.....	16
4.3.1. APIS COR.....	17
4.3.2. WASP	18
4.3.3. COBOD.....	19
4.3.4. BE MORE 3D	21
4.3.5. ANÁLISIS COMPARATIVO.....	24
4.4. COMPARACIÓN ENTRE FABRICACIÓN CONVENCIONAL Y ADITIVA.....	26
4.4.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO	27
4.5. ADQUISICIÓN DE LA TECNOLOGÍA.....	34
4.5.1. COSTES ADQUISICIÓN IMPRESORA 3D.....	34
4.6. EFECTOS EN ZONA DE OPERACIONES	34
4.7. APLICACIONES MILITARES	36

5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	39
5.1. CONCLUSIONES	39
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
ANEXOS	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Línea temporal FA.....	4
Figura 2. Tanque ruso T-14.....	5
Figura 3. Misil impreso Raytheon.....	6
Figura 4. Mine kafon dron.....	6
Figura 5. Laboratorio móvil Prodintec.....	6
Figura 6. Militares creando un diseño digital.....	7
Figura 7. Evolución método construcción "Apis Cor".....	7
Figura 8. Impresora Vulcan II de ICON.....	8
Figura 9. Brazo robótico de Apis Cor.....	9
Figura 10. Robot Contour Crafting suspendido por cables, C4 Robot.....	9
Figura 11. Edificio impreso por Apis Cor en Dubai.....	11
Figura 12. Vivienda Gaia impresa por WASP.....	11
Figura 13. Puente de hormigón.....	12
Figura 14. B-Hut.....	12
Figura 15. Cuartel military.....	13
Figura 16. Impresora Apis Cor.....	18
Figura 17. Impresora Big Delta WASP.....	19
Figura 18. The Bod.....	19
Figura 19. Área de impresión BOD2, COBOD.....	20
Figura 20. M-tec Duomix Connect.....	21
Figura 21. Especificaciones técnicas BOD2.....	21
Figura 22. Impresora SMART.....	22
Figura 23. Características técnicas BEM 1 PRO.....	22
Figura 24. Impresora BEM 1 PRO.....	23
Figura 25. Características hormigón FÓRMULA 3D.....	23
Figura 26. Plataforma de Tiro.....	26
Figura 27. PCZURB.....	26
Figura 28. Modelos Edificaciones (1,2,3 respectivamente).....	27
Figura 29. Refugios de Hormigón.....	37
Figura 30. Abri-Shelter.....	37
Figura 31. Parada de autobús Be More 3D.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación empresas.....	10
Tabla 2. Análisis DAFO.	14
Tabla 3. Matriz de Riesgos.....	16
Tabla 4. Riesgos destacados.	16
Tabla 5. Comparación empresa.	24
Tabla 6. Logística Método Convencional.	28
Tabla 7. Costes Método Convencional.....	28
Tabla 8. Costes mano de obra (por persona según rango)	29
Tabla 9. Costes totales edificaciones.....	31
Tabla 10. Logística FA.....	31
Tabla 11. Costes FA.....	32
Tabla 12. Comparación maquinaria, vehículos, herramientas y equipos.	33
Tabla 13. Comparación personal.	33
Tabla 14. Comparación costes totales.	34

ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ABREVIATURAS	
Cap.	Capitán
Cía.	Compañía
Pn	Pelotón
Sc	Sección

SIGLAS	
AGM	Academia General Militar
AM	Additive Manufacturing
DAFO	Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades
ET	Ejército de Tierra
FA	Fabricación Aditiva
FFAA	Fuerzas Armadas
I/A	Instrucción y Adiestramiento
JEME	Jefe del Estado Mayor del Ejército
TN	Territorio Nacional
ZO	Zona de Operaciones
ZZUU	Zonas Urbanizadas

ACRÓNIMOS	
AALOG	Agrupación de Apoyo Logístico
DIRACA	Director Académico
GRE	Grupos electrógenos
PCZURB	Polígono de Combate en Zonas Urbanizadas
RING-8	Regimiento de Ingenieros Nº8
SORTE	Sección de Organización del Terreno



1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la tecnología sigue un ritmo de evolución cada vez más rápido. Los nuevos avances son más revolucionarios y de gran aplicación militar. Sin embargo, la gran mayoría se están desarrollando fundamentalmente en el sector civil, lo que obliga a realizar un esfuerzo en el seguimiento de estos.

Este rápido avance podría afectar a la interoperabilidad con nuestros principales aliados y a los entornos de actuación militar, por lo que es necesario progresar a un ritmo equivalente e incorporar las innovaciones ágilmente para no quedar retrasados. El empleo de las nuevas tecnologías en el ámbito de defensa puede tener repercusiones positivas, al aumentar la brecha tecnológica con el enemigo. Sin embargo, traerá repercusiones, debido a que el empleo de estas por parte del adversario originará nuevos escenarios y amenazas a las que nos tendremos que adaptar.

El nuevo concepto de «Fuerza 35» establecido por el jefe de Estado Mayor del Ejército (JEME), pone en marcha para el Ejército de Tierra (ET) un proceso continuo de adaptación frente a los diferentes retos que están surgiendo en la actualidad. Dicha adaptación, viene marcada por la visión del JEME y cuyo objetivo es: [1]

«El Ejército de 2035 [...] estará capacitado para constituir organizaciones operativas flexibles y cohesionadas, dotadas de medios tecnológicamente avanzados y formadas por personal altamente motivado y preparado. Será capaz de operar en todo tipo de entornos y de integrarse en estructuras multinacionales [...]». [1, p. 4]

Además, establece que la eficacia del apoyo logístico seguirá residiendo en la capacidad de proporcionar a las unidades el apoyo adecuado en el momento y lugar oportunos. Por lo tanto, para garantizar un buen flujo logístico y asegurar la operatividad de las unidades que componen el ejército, se debe mantener una constante evolución de los medios y adaptación a las nuevas situaciones que se presentan.

De entre las principales tecnologías que influirán en el entorno operativo futuro¹, nos centramos en la Fabricación Aditiva (FA) aplicada concretamente en el área de la construcción. Este tipo de fabricación consiste en convertir un modelo digital tridimensional, previamente diseñado, en un objeto físico mediante la adición de material, empleando como herramienta lo que se conoce como impresora 3D.

Desde el punto de vista industrial, el interés deriva en gran medida de la generosa suma de posibilidades que ofrece en los diferentes sectores, de la gama de productos que permiten obtener, de la variedad de materiales con los que puede trabajar y de la rapidez y autonomía con la que se obtienen los distintos productos. Dichas ventajas extrapoladas a la creación de infraestructuras ofrecen una visión más atractiva del método de construcción frente al existente. Aspectos de gran relevancia que permiten contribuir indiscutiblemente hacia el horizonte 2035.

Las Unidades de Ingenieros en su conjunto, especialidades y zapadores, realizan actividades dedicadas a la construcción de infraestructuras necesarias para contribuir a la mejora de las condiciones de vida de las tropas, conservación de recursos y mejorar las áreas de instrucción, ya sea en territorio nacional como internacional. El objetivo del presente trabajo es aportar un método alternativo de construcción frente al convencional, que permita reducir los costes tanto económicos como temporales, además de disminuir la mano de obra del proyecto, minimizando así los accidentes laborales y solventando los problemas de falta de personal

¹ Inteligencia Artificial, robotización, proliferación de medios remotos y autónomos, nuevos materiales, fabricación aditiva, proliferación de sensores, el internet de las cosas, avances en Biometría, realidad aumentada y ocultación. [1]



presentes en las unidades originados por diversos motivos.

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo general del presente trabajo es realizar un análisis para conocer si la actual tecnología de Fabricación Aditiva de Edificios tiene cabida en las unidades del Ejército de Tierra. De esta manera, el ejército gozaría de las innumerables ventajas que aporta el nuevo método de construcción.

Para ello se procederá a analizar los aspectos positivos y negativos que nos aporta el nuevo método constructivo. Para realizar dicho análisis se tomará como referencia un proyecto realizado en la plaza de Melilla por parte del Regimiento de Ingenieros Nº8 (RING-8), para el que se compararán sus costes de ejecución aplicando los dos métodos, convencional y construcción aditiva, permitiendo verificar el posible ahorro en los costes de construcción.

A continuación, tras analizar las ventajas que nos proporciona, realizaremos un análisis sobre la posible adquisición de una impresora 3D y las consecuencias que esta traería, tanto económicas como de procedimiento. Es por esto por lo que finalmente, se hará un estudio sobre cómo podría afectar a las relaciones que se pretende establecer en Zona de Operaciones (ZO) con la población anfitriona del país donde se desarrolla la misión, ya que, teniendo en cuenta la forma de actuar de nuestras Fuerzas Armadas, podría tener fuertes controversias con la aplicación de esta tecnología al ofrecer más autonomía.

2.2. METODOLOGÍA

La realización del trabajo consiste en la ejecución de un Plan de Viabilidad, el cual permite el estudio de los aspectos más importantes desde la idea inicial hasta los relativos a la puesta en marcha. Para la realización de este trabajo, se ha recurrido a una metodología mixta, que consiste en el uso combinado de métodos cualitativos y métodos cuantitativos. Esta metodología ha permitido llegar a una conclusión justificada sobre la implementación de la Fabricación Aditiva para edificios en el Ejército de Tierra. El proceso de trabajo y la memoria de este TFG se han organizado en cuatro fases, para facilitar el seguimiento del proceso y su mejor comprensión.

La primera fase consiste en la definición del caso de estudio, abarca el apartado 1 y 3 de la memoria. En ella se analiza la situación actual del Ejército de Tierra en los ámbitos relacionados a la temática del trabajo y los objetivos que se pretenden alcanzar. Entre los objetivos perseguidos, se encuentra el estudio de la evolución tecnológica de sus medios y más concretamente la implementación de la FA en todos sus ámbitos. Este aspecto es el que afecta directamente a la realización del trabajo y respalda la continuación de su estudio. Tras conocer el problema, se procede a estudiar la evolución que ha tenido esta tecnología a lo largo de la historia, centrándose en el área de la construcción. Se muestran diferentes aplicaciones donde ha sido empleada, tanto militares como civiles, permitiendo conocer los diferentes campos de aplicación. En definitiva, se pretende conseguir una visión general de los posibles empleos que tiene esta tecnología en el ámbito militar, sirviendo de referencia los avances realizados por el ejército estadounidense.

La segunda fase consiste en una evaluación cualitativa de la tecnología, cuyo proceso y resultados se describen en los apartados 4.1, 4.2 y 4.3. Esta es una de las partes más relevantes para la toma de decisión final sobre la adquisición de la tecnología. En ella podemos encontrar un Análisis DAFO, un Análisis de Riesgos y un Estudio de Proveedores. Mediante la aplicación de estas técnicas, se podrá conocer de forma más detallada los aspectos positivos y negativos que aportaría este nuevo método de construcción en el ámbito militar. Sirviendo de ayuda para



conocer si el cómputo final es beneficioso y rentable para el ET.

La tercera fase consiste en la evaluación de los aspectos cuantitativos. Se describe en los apartados 4.4 y 4.5, donde se comparan los dos métodos de construcción, el convencional frente a la aplicación de FA y el análisis de los costes de compra de la impresora seleccionada para hacer una estimación temporal de amortización. En el análisis económico, gracias a la comunicación establecida con la empresa civil seleccionada, se han podido comparar los costes de construcción de un proyecto de carácter militar seleccionado. De esta manera, se pueden analizar los beneficios económicos, materiales y temporales que puede ofrecer la impresión 3D. A partir de ese beneficio económico y el coste de adquisición de la impresora, se obtiene una estimación aproximada del número de obras necesarias para amortizar la inversión inicial.

En la cuarta fase se realiza un estudio de la situación en caso de tener que emplear la maquinaria en zona de operaciones, y conocer los aspectos a tener en cuenta para su uso y cómo afectaría a los procedimientos a seguir para establecer relación con la población anfitriona. En este apartado se cuenta con la entrevista realizada al Cap. Millán Panadero, tras haber sido desplegado en ZO, siendo el responsable de la gestión de la mano de obra local. Con su experiencia y con las lecciones aprendidas de otras misiones, se puede conocer si el empleo sería realmente satisfactorio o traería mayores problemas. También se muestra una serie de ejemplos de proyectos propios de las unidades de ingenieros para conocer el abanico de aplicación que tendría la nueva adquisición.

Para finalizar, la recopilación de los diferentes datos de los distintos apartados y su posterior interpretación nos permitirá conocer si la aplicación de esta nueva metodología por las distintas unidades del Ejército de Tierra, independientemente de la zona de aplicación, sería factible o no.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1. ¿QUÉ ES LA FABRICACIÓN ADITIVA?

Actualmente, los términos de impresión 3D y fabricación aditiva se utilizan como sinónimos, sin embargo, no son exactamente lo mismo. La fabricación aditiva hace referencia a todas las técnicas de fabricación por adición de material, mientras que la impresión 3D, que es una de esas técnicas, se basa en la idea de convertir un modelo digital a partir del diseño realizado mediante un software de diseño ("Computer Aided Design"-CAD) en un objeto tridimensional sólido.

La principal dificultad de trabajar con este método no reside en el proceso de fabricación, sino en la creación del diseño informático de la pieza u objeto. Esta innovadora tecnología llamada a revolucionar infinidad de campos abarca un amplio catálogo de posibilidades y, además, ofrece un servicio global de diseño, impresión y fabricación con numerosas aplicaciones para el sector de la defensa.

3.1.1. HISTORIA

La Fabricación Aditiva se remonta a la década de los 80, concretamente a 1981 cuando Hideo Kodama, del Instituto Municipal de Investigación Industrial de Nagoya ideó una técnica de prototipado rápido mediante polímeros.

En 1984, el ingeniero norteamericano Charles Hull inventa la estereolitografía (SLA), primera tecnología de fabricación aditiva basada en polímeros sensibles a la luz ultravioleta que sería posteriormente patentada en 1986, creando además la empresa 3D Systems.

Desde los años 90, la fabricación aditiva ha seguido tomando vuelo con la llegada de las tecnologías innovadoras llevadas de la mano de empresas como ZCorp, PolyJet o la empresa



FABRICACIÓN ADITIVA DE EDIFICIOS

israelí Object.

El desarrollo de los materiales de impresión 3D también ha variado a lo largo de los años, adaptándose a la llegada de nuevas tecnologías. A partir de plásticos, pasando por metales hasta hoy que llegan materiales sorprendentes que pueden llegar a ser comestibles. Actualmente, el mercado de materiales de impresión 3D tiene un amplio alcance, y todavía está en pleno crecimiento. [2] [3]

En esta línea de tiempo se reflejan algunos de los acontecimientos más destacados desde entonces.

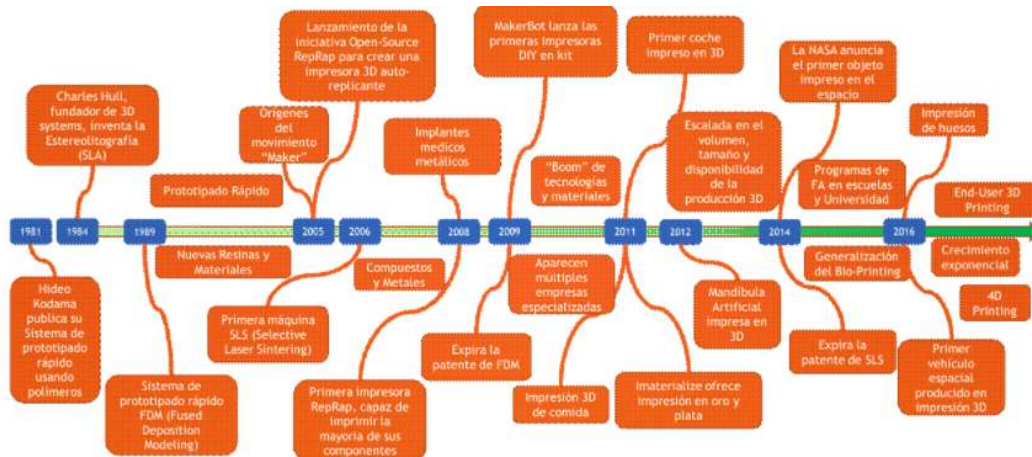


Figura 1. Línea temporal FA.

Fuente: [2]

3.1.2. CARACTERÍSTICAS

Tras varias lecturas de diferentes artículos relacionados con las posibilidades que nos ofrece la impresión 3D en el mercado y la sociedad actual, se deducen una serie de ventajas y desventajas que aporta esta tecnología. [4] [5]

Ventajas de la impresión 3D

- Flexibilidad y versatilidad, ya que permite realizar con una misma impresora más de un tipo de producto, sin necesidad de modificar la máquina. Además, la creación de diseños y modificación de errores es realmente rápida.
- Reducción de costes, debido al ahorro en material, maquinaria y mano de obra a la cual sustituye esta innovación. Además, los costes no solo son monetarios sino también de temporales.
- Personalización, por su libertad de diseño y la diversidad de formas capaces de crear gracias a la mecánica de la impresora.
- Margen de mejora, ya que, este todavía no ha alcanzado su mejor versión y ofrece una gran proyección.

Pero no todo sistema es perfecto, las impresoras 3D tienen también puntos débiles.

Desventajas de la impresión 3D

- Violación de los derechos de autor. Este sistema se muestra vulnerable ante el control de réplicas de diseños ya patentados.
- Objetos peligrosos. La libertad de diseño puede provocar la creación de elementos



punzantes o ilegales siendo difícil, por parte de las autoridades, tener un control sobre ese material.

- Cierre de otros mercados y pérdida de puestos de trabajo.
- Coste elevado de adquisición. Hay que tener en cuenta que es una tecnología novedosa no está al alcance de todos, pero conforme se vaya desarrollando ese valor irá disminuyendo.

3.1.3. APLICACIONES

Esta tecnología inicialmente solo mostraba aplicación en el ámbito de industrial para crear prototipos o piezas de repuesto, pero a medida que ha evolucionado la investigación, motivó su aplicación en un amplio catálogo de posibilidades. A continuación, se muestra las distintas áreas de aplicación donde se está introduciendo. Diferenciamos entre las categorías civil y militar.

3.1.3.1. CIVIL

En el entorno civil ha tenido numerosas aplicaciones, entre las que destacamos:

- Sector industrial, el primer coche híbrido impreso en tres dimensiones, se denomina el Urbee Car y ha sido creado por Jim Kores. [6]
- Medicina, un equipo de médicos holandés han sido los primeros en trasplantar un hueso impreso tridimensionalmente a una mujer de 83 años. [7]
- Artístico, tras realizar una réplica exacta del David de Miguel Ángel. [8] [9]
- Moda, con la creación de zapatos por parte de la diseñadora Annie Foo. [10]
- Alimentación: Modern Meadow, empresa de biotecnología situada en Estados Unidos, que pretende crear alimentos usando una bioimpresora 3D. [11]

3.1.3.2. MILITAR

Desde hace años, el entorno militar ha comenzado sus investigaciones en diferentes campos relacionados con la fabricación aditiva que van desde el desarrollo de armas, la alimentación y la medicina. A modo de ejemplo, mostramos alguno de esos avances [12]:

Rusia y sus tanques impresos en 3D:
Uralvagonzavod, un fabricante de vehículos blindados comenzó a utilizar la impresión 3D en su nueva línea de tanques Armata. En la Figura 2 se puede ver uno de ellos desfilando el 9 de mayo en el desfile militar.



Figura 2. Tanque ruso T-14



Misiles con fabricación aditiva. Raytheon, el principal productor de misiles guiados con sede en Estados Unidos (EE. UU.), comenzó la experimentación con misiles impresos en 3D. La función principal será proporcionar repuestos para misiles, acelerando el proceso de reposición. En la Figura 3 se muestra un ejemplo fabricado al 80% con impresión 3D.

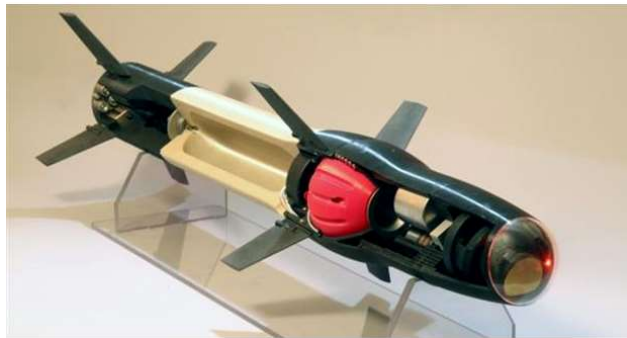


Figura 3. Misil impreso Raytheon

Drones detectores de mina. Otra de las aplicaciones es un avión no tripulado creado con fabricación aditiva que puede detectar y eliminar las minas terrestres sin la intervención humana. Fue financiado por la plataforma de crowdfunding Kickstarter con el nombre de «Mine kafon dron». (Ver Figura 4)



Figura 4. Mine kafon dron

A nivel nacional, el ET ha implementado esta tecnología para acelerar el proceso de adquisición de repuestos (recursos de clase IX). La primera expresión que se tuvo fue la creación de un laboratorio móvil, dentro de un contenedor, desarrollado por los gijoneses de Prodintec [13] (Ver Figura 5), creado para poder imprimir piezas sobre el terreno en misiones en el extranjero.



Figura 5. Laboratorio móvil Prodintec



La Agrupación de Apoyo Logístico (AALOG) nº 41, ha sido la primera unidad del ET en hacerse con esta capacidad, con el objetivo de poder incrementar el suministro de recambios al resto de unidades y garantizar la operatividad de estas [14]. (Figura 6)

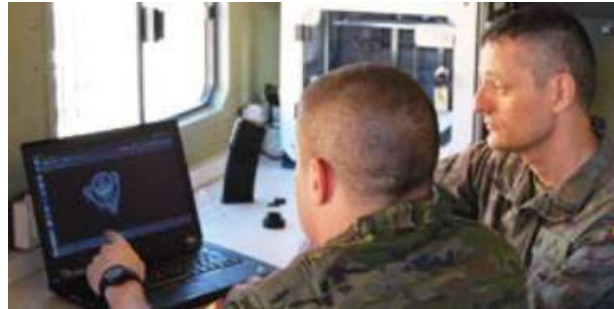


Figura 6. Militares creando un diseño digital

3.2. CONSTRUCCIÓN ADITIVA

La FA o Additive Manufacturing (AM) también tiene aplicación en el área de la construcción. La tecnología, a pesar de encontrarse en su fase preliminar, se presenta como un nuevo método constructivo muy competente en el mercado actual permitiendo complementar el proceso de construcción convencional con uno más automatizado.

Su mecánica y electrónica permiten fabricar estructuras completas y de manera más eficiente, dotándolas de libertad geométrica en el diseño, creando superficies tanto rectas como curvas, sin necesidad de moldes o encofrados. Esto, junto al reducido tiempo, la poca energía gastada por las máquinas actualmente patentadas y la reducción de los riesgos laborales, se consigue disminuir el coste de construcción y aumentar la eficiencia ambiental en términos del proceso de fabricación. Por tanto, es clara la necesidad de invertir en esta tecnología como alternativa económica y flexible.

En la Figura 7, se muestra cuál sería la evolución del método convencional de construcción, frente a la aplicación de AM, empleando la impresora diseñada concretamente por la empresa rusa "Apis Cor". Se observa cómo la cadena de construcción se reduce claramente a la mitad, simplificando el proceso de construcción.

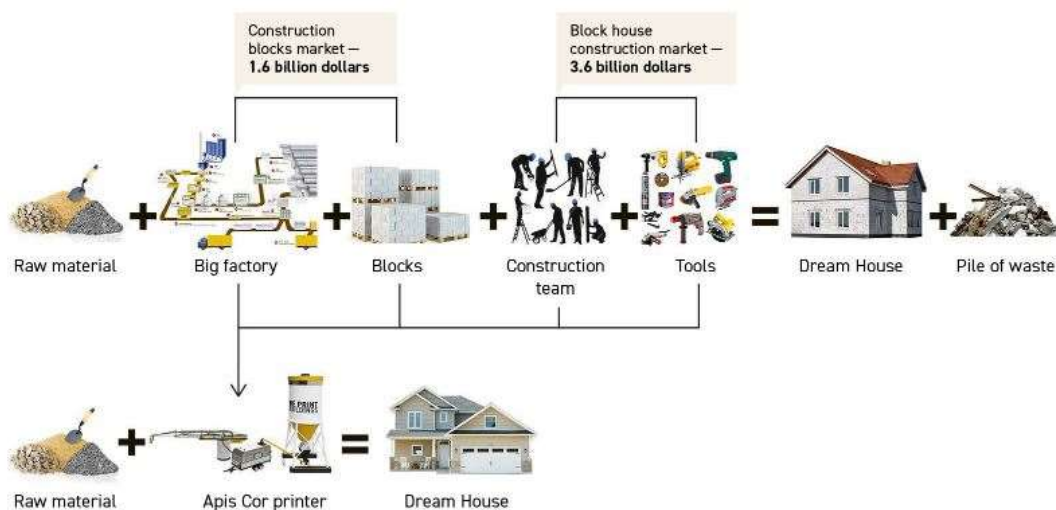


Figura 7. Evolución método construcción "Apis Cor".



Fuente: [15]

3.2.1. ANTECEDENTES

Hace relativamente poco tiempo que se intentó la implementación de este avance. Tras varios intentos e ideas de personajes como Hinczewski y Khoshnevis, fue en 2012 cuando Lim muestra que es posible la impresión de componentes de hormigón prefabricado con su propia impresora.

Era difícil pensar, por aquel entonces, que con el tamaño de las impresoras 3D que se estaban comercializando se podía llegar a construir un edificio, teniendo en cuenta sus dimensiones. Sin embargo, DUS Architects, empresa holandesa, desarrolla en 2013 la impresora KamerMaker de 6 m de altura, la cual trabaja con polipropileno.

En 2014, la empresa arquitectónica china Winsun imprimió en Shanghai varias casas completas en menos de 24 horas. Además, empleó por primera vez cemento con fibra de vidrio de alta calidad, algo que permitió dotar de mayor resistencia a las edificaciones frente al uso de hormigón reforzado.

En los últimos años, el papel de la fabricación aditiva en la industria de la construcción se ha vuelto cada vez más importante, ganando popularidad entre arquitectos y empresas de construcción. Son muchas las empresas que han desarrollado su propia tecnología y las han podido aplicar en numerosos proyectos, surgiendo así diferentes sistemas y tecnologías que desglosaremos a continuación. [16]

3.2.2. TIPOS DE IMPRESORAS

A continuación, se va a mostrar una breve explicación de los diferentes diseños de impresoras 3D que han surgido hasta la actualidad. Se podrá comprobar que, a pesar de no seguir el mismo patrón de diseño, son capaces de realizar construcciones empleando hormigón. [17]

1. Pórtico: suelen estar compuestos por 3 o 4 ejes. Presenta un cabezal que se desplaza a lo largo de los distintos ejes cartesianos (X, Y, Z). Realiza construcciones estables y seguras, así como simple y económica. Sin embargo, tiene poca flexibilidad a la hora de transportarlo, dadas las dimensiones que ocupa. La impresora diseñada por la empresa ICON es un ejemplo de este diseño se muestra en la Figura 8.

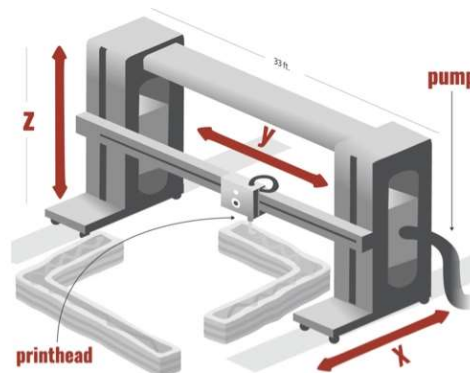


Figura 8. Impresora Vulcan II de ICON.

Fuente: [17]

2. Brazos robóticos: en la industria automovilística, este tipo de estructura cuenta con una amplia presencia para realizar procesos de pintado o montaje. Simulan el movimiento de un brazo humano con sus articulaciones, adquiriendo la capacidad de realizar



movimientos rotacionales y lineales. La ventaja está en que es de fácil manejo, debido a las pequeñas dimensiones del sistema mecánico. No obstante, su área de impresión está muy limitada en comparación con el resto y tienden a ser más caras. Un ejemplo sería la impresora Frank de Apis Cor (Figura 9).

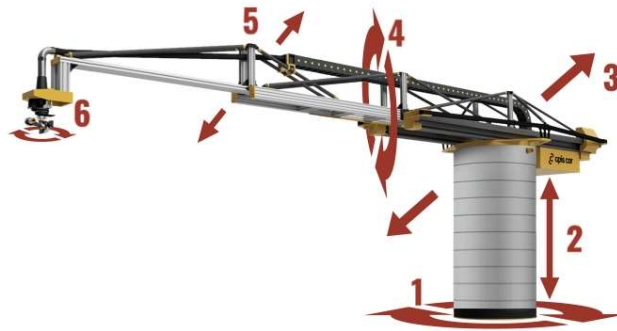


Figura 9. Brazo robótico de Apis Cor.
Fuente: [17]

3. Suspensión por cables: el robot se encuentra en suspensión gracias a la sujeción de unos cables que se extienden y se recogen de manera automatizada. Los cables del robot, tensados por acción de la gravedad, están conectados a puntos estables del entorno, tales como la estructura de un edificio. Esto implica un menor coste de la estructura portante, ya que no precisa de guías lineales. Permite imprimir grandes elementos constructivos, es fácilmente transportable y su montaje es sencillo. Sin embargo, la mayoría de estos robots tienen algunas limitaciones con los cables, ya que interfieren entre sí y con los objetos de su alrededor. En la imagen adjunta, se ve el prototipo de la impresora C4 Robot, que pertenece a esta tecnología.

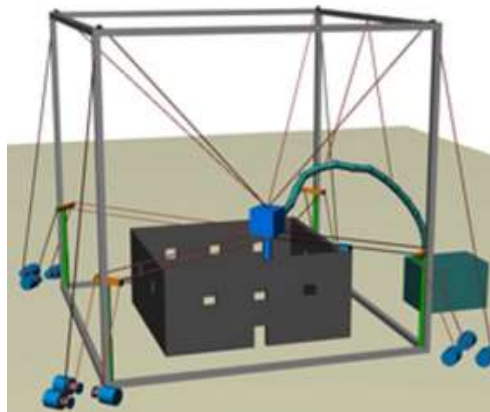


Figura 10. Robot Contour Crafting suspendido por cables, C4 Robot.
Fuente: [18]

Cada diseño tiene ventajas e inconvenientes distintos según la aplicación deseada. El volumen de construcción, la resolución de impresión, la practicidad y la eficiencia de la máquina dependen de factores como el sistema, la tecnología de extrusión de material, diseño, material y aplicaciones previstas.

A continuación, adjuntamos una lista de empresas actuales que han desarrollado esta tecnología y su clasificación según el diseño de impresora que han utilizado.



PÓRTICO	BRAZO ROBÓTICO	SUSPENSIÓN POR CABLES
COBOD	Apis Cor	WASP
ICON	Cybe	
SQ4D	XtreeE	
Contour Crafting	Bati Print 3D	
Winsun		
Be More 3D		

Tabla 1. Clasificación empresas.
Fuente: [Elaboración propia]

3.2.3. HORMIGÓN IMPRESO

El hormigón es una de las sustancias más utilizadas en el mundo. Se trata de un material compuesto de cemento, agua y otros agregados. Como tal, el hormigón es un material económico y, por tanto, muy popular en el sector de la construcción. El hormigón impreso es un modelo especial de este material que se aplica sin necesidad de utilizar soporte de encofrado o someterlo a un proceso de vibración.

Este proceso innovador de impresión de hormigón en 3D permite a las empresas del sector de la construcción la oportunidad de diferenciarse de sus competidores, algo que proporciona una gran serie de ventajas, entre las que destacan: durabilidad, disminución de accidentes laborales, reducción de los costes del material, obtención de diversidad de formas, mayor rapidez del proceso y abarata los costes de construcción. Además, debe cumplir las siguientes propiedades básicas:

- Ser imprimible.
- Poder ser bombeado.
- Adquirir la resistencia mínima a corto plazo.
- Mantener las anteriores características durante la realización del trabajo.

En la actualidad, existen cientos de estructuras para edificios que se han impreso con éxito, a través de la tecnología de hormigón impreso en 3D. Convirtiéndose en una tendencia moderna indispensable en un futuro no muy lejano. [17] [19]

3.2.4. APLICACIONES

3.2.5.1. CIVIL

A continuación, se muestran algunas de las numerosas construcciones ya realizadas y puestas en uso que se han construido alrededor del mundo. [20]

Primero, se adjunta la imagen del proceso de construcción de la edificación impresa por la empresa rusa Apis Cor en Warsai, Dubai a finales del año 2019. Se trata de un edificio de dos pisos, el más grande del mundo en su tipo: mide 9,5 metros de altura y tiene una superficie total de 640 metros cuadrados. [21]



Figura 11. Edificio impreso por Apis Cor en Dubai.

Fuente: [21]

Otro ejemplo de edificación sería la construida por una empresa italiana de impresión 3D llamada WASP, la cual inició la construcción de pequeñas casas con una impresora 3D y materiales naturales. Estas nuevas viviendas llamadas Gaia, como se observa en la imagen, tienen 30 metros cuadrados y cuentan con una carcasa exterior impresa en 3D y vigas de madera internas. [22]



Figura 12. Vivienda Gaia impresa por WASP.

Fuente: [22]

3.2.5.2. MILITAR

Sobre aplicaciones de FA en el área de la construcción a nivel defensa, únicamente se ha hallado información sobre proyectos ejecutados por el ejército de Estados Unidos. A continuación, se exponen algunos ejemplos:

En la Figura 13. Se muestra el primer puente de hormigón realizado con impresión 3D. Este proyecto ha sido llevado a cabo por los miembros de 1st Marine Logistics Group. Construyeron el puente durante el ejercicio Steel Knight en California, utilizando una impresora 3D especial desarrollada por el Ejército y otros socios. La impresora puede crear estructuras bajo demanda, reduciendo el tiempo de construcción de cinco días a uno.



Figura 13. Puente de hormigón.

Fuente: [23]

El Laboratorio de Investigación de Ingeniería de la Construcción en Champaign, Illinois, ha impreso con éxito en tres dimensiones una estructura de hormigón de 50 metros cuadrados.

La estructura, llamada cabaña de cuartel o B-Hut (Figura 14), fue impresa como resultado de un Programa del Ejército de tres años llamado "Construcción Automatizada de Estructuras Expedicionarias". Utiliza un proceso de fabricación aditiva para "imprimir" estructuras semipermanentes en un teatro de operaciones.



Figura 14. B-Hut.

Fuente: [24]

Finalmente, en la Figura 15, se muestra un ejemplo de cuartel militar de entrenamiento creado por el Departamento Militar de Texas (TMD) en colaboración con la empresa constructora ICON. Las estructuras se encuentran en el Centro de Entrenamiento Camp Swift en Bastrop, TX. Se considera la estructura impresa en 3D más grande de América del Norte con una superficie de casi 1160 metros cuadrados, y es capaz de acomodar hasta 72 soldados.





Figura 15. Cuartel military.
Fuente: [25]

3.2.5. UNIDADES DE ESPECIALIDADES DE INGENIEROS

El Ejército de Tierra español, cuenta con Unidades de Ingenieros que tienen como misión favorecer la maniobra propia y dificultar la del enemigo mediante la ejecución de diferentes apoyos Movilidad, Contramovilidad, Protección y Apoyo General de Ingenieros. Concretamente, se va a prestar atención al Apoyo General de Ingenieros, que engloba acciones como la defensa contraincendios, suministro de energía, y la que realmente interesa en este TFG, la construcción de instalaciones logísticas, campamentos, infraestructuras, etc. que contribuyen a la seguridad y protección de la fuerza.

Las Unidades de Ingenieros se encuentran divididas en unidades de especialidades o de zapadores, pero son las de especialidades, a través de sus Cías. de Construcción, las encargadas de realizar trabajos de construcción y/o rehabilitación de edificaciones. Estas unidades aún no han puesto en marcha la implementación de la impresión 3D en el ámbito de la construcción, sin embargo, están empezando a mostrar interés en ella. Con el presente trabajo, se pretende facilitar la realización de un plan de adquisición de la tecnología y así poder emplearlas en numerosos proyectos, como la construcción de infraestructuras de apoyo a la Instrucción, instalaciones en las unidades o incluso en ZO para contribuir a la seguridad y protección de la fuerza.

4. DESARROLLO

A continuación, se va a proceder con la explicación de todos y cada uno de los pasos llevados a cabo para la realización del trabajo y alcanzar los objetivos establecidos. Finalmente, con los resultados obtenidos se podrá determinar si la actual tecnología de Fabricación Aditiva tiene cabida en el Ejército de Tierra como un nuevo método de construcción de infraestructuras.

4.1. ANÁLISIS DAFO

En primer lugar, se recurre al uso de una herramienta para la toma de decisiones, de esta manera, se podrá observar si la FA proporciona las ventajas suficientes para continuar con el estudio de su implementación.

El análisis DAFO² es una herramienta estratégica que nos permite conocer la situación real en la que se encuentra una empresa, institución, proyecto o persona, analizando sus

² Fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.



características internas (debilidades y fortalezas) y externas (amenazas y oportunidades). De esta manera, se podrá planear una estrategia de futuro, ya que, determina las ventajas e inconvenientes que presenta el objeto analizado. [26]

El objetivo de utilizar esta herramienta es conocer los puntos fuertes y débiles que podría presentar la FA en el ámbito militar. Mediante el estudio de las debilidades, se conocerán los aspectos que limitarían el desarrollo y la aplicación de la tecnología. A través de las amenazas, se conocerá que elementos del entorno impiden o reducen la efectividad del uso de esta. Finalmente, con el estudio de las fortalezas y oportunidades, se hallarán las ventajas que permita explotar y mejorar la rentabilidad de esta.

Para la obtención de la siguiente tabla, se ha procedido al análisis de las ventajas y desventajas que proporciona el uso de esta tecnología, que han sido previamente nombradas en el apartado Estado del Arte, y a su posterior contrastación con los aspectos, tanto positivos como negativos, que presenta la construcción convencional en el ejército. Para su elaboración también se ha contado con el asesoramiento de los directores de este TFG (tanto académico como militar, expertos, respectivamente, en FA y en unidades de Ingenieros).

<u>DEBILIDADES</u>	<u>AMENAZAS</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Elevado coste adquisición • Falta de especialización • Limitación en las dimensiones de impresión • Disposición de recambios • Hormigón especial • Dificultad de transporte 	<ul style="list-style-type: none"> • Poca aceptación • Proveedores limitados • Necesidad de empleo en zonas poco desarrolladas
<u>FORTALEZAS</u>	<u>OPORTUNIDADES</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de costes de construcción • Reducción mano de obra y riesgos laborales • Flexibilidad en el diseño • Disminución de generación de residuos • Reducción de los tiempos de construcción 	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología en desarrollo • Adaptación a las nuevas tendencias • Mejora del material • Compromiso con el medio ambiente • No necesita alto conocimiento técnico

Tabla 2. Análisis DAFO.
Fuente: [Elaboración propia]

A continuación, se va a realizar una breve explicación de los diferentes aspectos nombrados en la tabla, para tener un mayor conocimiento de las consecuencias que tendría el uso de una impresora 3D en el ET.

Comenzamos con el análisis interno. Las debilidades que presenta una tecnología tan novedosa afectan a muchos aspectos entre los que se destaca el elevado coste de adquisición, la falta de personal especializado y la falta de proveedores, a la hora de necesitar recambios y material específicos. Además, el material de impresión que emplea también es especial, por lo que, la adquisición sería también complicada.

Las maquinas actualmente patentadas deben tener unas dimensiones superiores a la infraestructura que se quiere imprimir. Aspecto que influye tanto en la superficie de impresión, como en la necesidad de disponer de medios logísticos de grandes medidas para el transporte.

Sin embargo, entre las fortalezas que nos ofrece se destaca la reducción de los costes de construcción, al necesitar menor cantidad de material, por consecuencia se reduce la generación



de residuos, el empleo de maquinaria necesaria, la mano de obra y con ello, los riesgos laborales. Además, otro aspecto importante es el ahorro temporal, gracias a la velocidad de impresión y al tiempo que se puede tener trabajando a la impresora. Finalmente, el diseño de la impresora está orientado a revolucionar el campo de la construcción, permitiendo crear diseños diferentes ofreciendo mayor flexibilidad en la impresión.

El análisis DAFO también contempla los factores externos. Entre las amenazas existentes, se encuentra la no aceptación por parte del personal militar que se dedica al ámbito de la construcción y que necesitaría especializarse para el empleo de la impresora. La inutilización de la maquinaria, en caso de fallo o quiebre de los proveedores, es otra gran amenaza a la que habría que enfrentarse debido a la escasez de estos. En caso de necesitar emplear la tecnología en ZO, este último problema se daría con mayor probabilidad.

Entre las oportunidades destaca, el constante desarrollo y adaptación a las tendencias originadas en el sector, el imparable estudio por encontrar una fórmula resistente y eficiente en el material empleado y el compromiso con el medio ambiente al emplear residuos para la fabricación del material y la reducción en la generación de residuos.

4.2. ANÁLISIS DE RIESGOS

El objetivo de este análisis es estudiar los posibles riesgos que pueden aparecer tras aplicar la tecnología como método de construcción de infraestructuras en las unidades de ingenieros, ver cuál es su probabilidad de aparición, el impacto que podrían suponer y posibles planes de contingencia para evitarlos en la medida de lo posible.

Un riesgo es un evento o condición incierta que, si se produce, puede tener efectos negativos, sobre los objetivos que se establecen. En este caso, sobre los aspectos que permitan la implementación de la nueva metodología. Es inevitable que los riesgos puedan aparecer en cualquier momento del proceso, sin embargo, con el empleo de esta herramienta se pretende conocerlos previamente para poder anticiparse a ellos y reducir su impacto al mínimo [27].

4.2.1. ANÁLISIS CUALITATIVO

Para comenzar con el análisis, se realizó una recopilación de información a través de un brainstorming³ realizado, de manera independiente, con los tutores de este TFG, tanto militar como civil, sobre las posibles consecuencias que tendría la aplicación de esta nueva tecnología en el ejército. Además, se empleó el análisis DAFO previamente realizado, facilitando así la identificación de los diferentes riesgos que pueden darse. Gracias a la herramienta “Risk Assessment” [27], se fueron recopilando los posibles riesgos y analizándolos individualmente para conocer la repercusión que tendrían.

Se obtienen 11 riesgos, de los cuales se identifica la categoría a la que pertenece cada uno de ellos, el causante de cada riesgo, el impacto que genera en la implantación de la tecnología, la probabilidad de ocurrencia que tienen, los efectos que ocasionan y las medidas a tomar para solventar cada contingencia.

A cada riesgo inicialmente se le asocia una clase, el impacto que tiene y la probabilidad con la que podría ocurrir. Tras observar los efectos y las medidas que se podrían tomar para su solución, se recalcula dicha clase comprobando si se consigue el efecto deseado. A continuación, se adjunta la matriz de riesgos, donde se refleja la relación impacto- probabilidad y un recuento de cada tipo de riesgos según la clasificación marcada.

³ Lluvia de ideas, herramienta de trabajo grupal que facilita el surgimiento de ideas relacionadas con un tema o problema determinado.



Matriz riesgos						
Impacto- Probabilidad					Nº de Riesgos	
Probabilidad	3	0	1	0	Clase riesgo	Número
	2	1	2	2	Crítico	0
	1	1	1	3	Alto - medio	3
	Low	Mediu m	High	Medio	7	
	Impacto			Bajo	1	
	Total:					11

Tabla 3. Matriz de Riesgos.
Fuente: [Elaboración propia]

De entre todos los riesgos hallados, nombraremos los más problemáticos y complicados de reducir su impacto. El resto del análisis se encuentra disponible en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

1	Falta de personal habilitado	Personal	Plazas reducidas para realizar el curso de especialización.	H	2	2H
2	Falta de experiencia	Técnico	Poca experiencia por parte del personal con la impresora y con la realización del diseño digital.	M	3	3M
3	No disposición de recursos necesarios para fabricar el hormigón	Desarrollo	Error del proveedor, problemas en la confirmación de material, fecha de entrega y/o lugar.	H	2	2H

Tabla 4. Riesgos destacados.
Fuente: [Elaboración propia]

De los principales riesgos encontrados se puede destacar que, al ser una tecnología en pleno desarrollo, el problema más obvio es la falta especialización y experiencia por parte del personal que tiene que trabajar con la tecnología. Esa falta de experiencia podría provocar que no se le pudiera sacar el máximo partido de este medio. La forma de solventar este problema es ofreciendo continuamente cursos de formación e introduciendo una mayor cantidad de actividades de instrucción que permitan mejorar la destreza de estos.

Otro riesgo notable que puede aparecer está relacionado con la adquisición del tipo de hormigón necesario para la impresión. El hormigón para imprimir no corresponde con el usado en el método convencional. Las contingencias generadas, pueden ser debido a un mal suministro por parte del proveedor o quiebre del mismo, con dificultad de encontrar otro debido a la escasez que hay actualmente, o si se decide fabricarlo, no disponer de los recursos necesarios para ello. Este último caso puede ocurrir en caso de encontrarse en una zona más o menos aislada, como puede ocurrir en algunos teatros de operaciones.

4.3. ESTUDIO DE PROVEEDORES

En el presente apartado, se pretende estudiar al menos un modelo concreto de los tres tipos de impresoras 3D que existen en el mercado actual (pórtico, brazo robótico y suspensión por cables). El objetivo es conocer los puntos fuertes y débiles que tiene cada diseño y poder decidir sobre qué tecnología es la que mejor se adapta a nuestras necesidades. En la comparación de características, incluiremos la impresora diseñada por la empresa Be More 3D, que pertenece al grupo de las impresoras en pórtico, por ser la única empresa española que cuenta con tecnología propia de impresión 3D de edificios.

Las empresas que se han elegido para esta comparación son Apis Cor, WASP, COBOD y Be More 3D. Siguiendo el orden anterior para el análisis:



4.3.1. APIS COR

La empresa rusa Apis Cor con sede tanto en Rusia como en Estados Unidos, es una de las empresas líderes en el sector. Su fundador y actual CEO es Nikita Cheniuntai. Actualmente, dispone de una impresora denominada Frank, basada en un brazo robótico. Esta impresora destaca por ser pequeña, móvil y fácil de operar. Además, solo se necesita de dos operadores y no precisa de supervisión continua.

Puede ser transportada en una furgoneta, ya que sus dimensiones son de 4 metros de longitud del brazo, 1,6 metros de ancho y 1,5 metros de alto, el peso de la impresora es de 2 toneladas. Para su puesta en marcha, solo necesita 30 minutos.

La capacidad de impresión alcanza hasta tres pisos de altura y sin límite de superficie. Sin embargo, presenta una restricción en cuanto al área de impresión. Si la superficie de impresión supera el radio de acción del brazo, (que se consigue extender hasta los 8,5 metros de longitud, alcanzar una altura de hasta 3 metros y consta de un movimiento angular en los 360°), hay que ir reposicionando la máquina con la ayuda de su plataforma móvil para terminar el trabajo. Especificaciones detalladas en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

El sistema está equipado de dispositivos de dosificación precisos y algoritmos sofisticados, además, la boquilla de expulsión del material está formada por una espátula evitando así el efecto “salchicha” propio en este tipo de impresión. La impresora consta dos elementos más:

- Gary, la unidad de mezclado y bombeo del material. Está compuesto por un sistema de dosificación de agua inteligente para proporcionar una consistencia de agua adecuada. Además, permite realizar la limpieza automática del sistema gracias al sistema ReBallver.
- Mary, un sistema de entrega de material de impresión 3D. Consiste en un camión inteligente capaz de proporcionar la dosis correcta de material seco protegiéndolo así de contaminante. Simplemente hay que conectarlo a una fuente de alimentación, conectar el resto de los componentes y proporcionar el agua necesaria para obtener el material necesario para comenzar a trabajar.

En cuanto al tipo de hormigón, emplea Geocement creado por la compañía Geobeton. Se trata de una mezcla basada en cemento de geopolímero⁴ en forma de polvo seco y en reactivo líquido geosilicato. Tiene una alta resistencia a ácidos y medios corrosivos, resistencia a altas (por encima de los 1000°C) y bajas temperaturas. Su resistencia a compresión es superior a 100 MPa y a flexión, superior a 13 MPa. Los certificados de calidad que certifican las propiedades adecuadas del material de acuerdo con ASTM C39/C39M-18 se encuentran disponible en la web oficial de la empresa. [28]

⁴ Los geopolímeros tienen un elevado potencial para ser usados como sustitutos de cementos portland. Tienen la ventaja de tener bajas emisiones de CO₂ en su producción, una gran resistencia química y térmica, y buenas propiedades mecánicas, tanto a temperatura ambiente como a temperaturas extremas.



FRANK



GARY



MARY

Figura 16. Impresora Apis Cor.
Fuente: [28]

4.3.2. WASP

World's Advanced Saving Project (WASP) es otra de las empresas que están destacando en el sector. Es una empresa italiana cuyo objetivo es construir casas utilizando los materiales disponibles en la zona. Para ello, se requiere que la maquinaria necesaria sea transportable y energéticamente eficiente, ya que la electricidad está totalmente ausente en grandes áreas del planeta. Por tanto, es necesario poder utilizar energías renovables como el sol, el viento y el agua.

En 2015 se creó la BigDelta, una impresora gigante de 12 metros de altura, basada en la suspensión por cables. Para su empleo se necesitan tres personas y aproximadamente una hora para ponerla en marcha. La impresora está preparada para funcionar a través de energía solar, empleando unos pocos metros de paneles solares.

La configuración de la BigDelta es de 12 m de alto y 7 m de ancho, equipada con brazos de 6 m, que también son modulares. Todos los sistemas que componen la máquina tienen una longitud máxima de 3 metros para que puedan ser cargados en un camión y transportados fácilmente. La máquina puede funcionar a 220 voltios, pero también a 60 voltios en caso de emplear energías renovables. La máquina es capaz de mover la extrusora con una carga de 0 a 200 kg, moviendo así grandes cantidades de material. Pero recomienda reducir esa cantidad a 40-50 kilogramos para reducir las vibraciones. La velocidad máxima que se alcanza trabajando es de 400 mm / s, pero depende de la cantidad de material presente dentro de la extrusora.

En cuanto al material empleado consideran que es mucho más fácil utilizar materiales sintéticos o técnicos que mezclas naturales. Sin embargo, su campo de aplicación está dirigido a emplear elementos naturales. [29]



Figura 17. Impresora Big Delta WASP.
Fuente: [29]

4.3.3. COBOD

COBOD es una empresa de Dinamarca que desarrolla máquinas de impresión 3D para la construcción. La tecnología que emplea se basa en los mismos principios que utilizan las impresoras 3D normales. Lo que es diferente es el material y la escala de las máquinas. En 2017, imprimieron el primer edificio en Europa: el BOD (Building On Demand). Para este proyecto emplearon la BOD1 y es a partir de esta máquina cuando surge BOD2, la impresora actual.



Figura 18. The Bod.
Fuente: [30]

La impresora de construcción BOD2 3D es una impresora de tipo pórtico y está diseñada para permitir la impresión in situ de edificios completos de hasta 3 plantas. La impresora se compone de módulos de 2,5 metros, pudiendo emplear 6 módulos como máximo para el ancho, 4 módulos para el alto y sin limitación de longitud. De esta manera se puede emplear los módulos imprescindibles para cada proyecto. Permite su fácil desmontaje y traslado en un camión. Los detalles de la maquina se exponen en el .



	Width (X-axis) <i>Printing area</i>	Length (Y-axis) <i>Printing Area</i>	Height (Z-axis) <i>Printing Area</i>
Minimum size	2 meter (2.5 meter)	2 meter (2.5 meter)	0.6 meter (2.5 meter)
Maximum size	14.5 meter (15 meter)	No limit	8.1 meter (10 meter) + height of any concrete installation feet used (page 10)

Figura 19. Área de impresión BOD2, COBOD.

Fuente: [30]

La impresora puede ser operada por un equipo de solo dos operadores, uno para realizar el control de la impresora y el otro para asegurar el suministro de materiales y las diferentes tareas durante la impresión.

Para la instalación de la impresora BOD 2, es necesario disponer de una carretilla elevadora para poder mover los diferentes módulos. También, hay que anclar las columnas del eje Z sobre cuatro pies de instalación de hormigón, que se colocan en la cimentación o suelo. Esto también permite elevar la impresora alrededor de un metro por encima del suelo, aumentando la altura máxima de impresión. Sin embargo, la instalación de esta tardaría entre 4 y 6 horas, mientras que el desmontaje toma entre 2 y 3 horas.

La impresora BOD 2 está diseñada para poder mover el cabezal de impresión con una velocidad máxima de 1000 mm /segundo - 1 m / s. Esta velocidad depende de la complejidad de la impresión, los materiales impresos y el mezclador / bomba utilizados.

El BOD2 está equipada con:

- Una tolva de material (con un extrusor interior) por encima de la boquilla, lo que permite un control preciso de la extrusión de materiales, incluida la posibilidad de iniciar y detener la impresión, facilitando la creación de puertas y ventanas. Además, está equipada con un sensor de nivel de material y se puede conectar digitalmente a la bomba y mezclador (ambas son opciones adicionales que se pueden adquirir). Puede contener una cantidad de material con un peso entre 20 y 30 kg.
- Una manguera de hormigón (tamaño típico de $\varnothing 50$ mm), que es conectado entre el cabezal y la bomba y el sistema de mezcla para suministrar el material.
- El cabezal de impresión está equipado con sensores para nivelación y estado del material, cámaras de video para monitoreo en vivo y una boquilla tangencial que permite acabados lisos incluso si las paredes se curvan.
- Una interfaz de software preinstalada, Gcode, que es un estándar industrial creada por COBOD Slice, pudiendo ser controlado por cualquier dispositivo con navegador y conexión Wi-Fi / ethernet como portátiles, tabletas, teléfonos inteligentes, etc.
- El pack de la impresora también podría ser adquirido con un silo que contiene material imprimible y un mezclador.

La mayoría de los componentes no son fabricados por COBOD. Sin embargo, recomiendan unos productos concretos, como puede ser el modelo M-tec Duomix Connect para la mezcla seca de material.



Figura 20. M-tec Duomix Connect.
Fuente: [30]

A continuación, en la figura 22 visualizamos los datos técnicos de la impresora:

Max printing length:	No limit
Max printing width:	14.6 m
Max printing height:	8.1 m + height of concrete feet on to which the printer can be mounted
Max printing speed:	Up to 1000 mm/s (1 meter/s)
Layer height:	5-30 mm
Layer width:	30-300 mm
Movement system:	Servo
Material flow:	Up to 3,6 m ³ /hour at 1000 mm/s speed (for a 5cm wide and 2 cm height print)
Max aggregate size:	10 mm
Printer setup time:	4-6 hours
Printer takedown time:	2-3 hours
Manning:	2 operators
Connection:	Wifi or LAN
Interface:	Web client (through browsers like Chrome or Safari)
Slicer software:	COBOD Slice (Windows, MacOS), Third party slicers
Power supply:	32 A, 400 V, 3 phase

Figura 21. Especificaciones técnicas BOD2.
Fuente: [30]

4.3.4. BE MORE 3D

La empresa se encuentra en la ciudad de Valencia y fue creada por jóvenes emprendedores titulados en Ingeniería de Construcción, Electrónica y Automatismo Industrial. Cuenta con la colaboración de numerosas empresas, así como el apoyo de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Entre sus objetivos, persiguen la evolución continua de la tecnología, venta de dispositivos, material y formación para implantación de la impresión 3D en el sector de la construcción. Además, han realizado proyectos sociales de cooperación al desarrollo de acceso a vivienda.

Entre las impresoras diseñadas por la empresa, se encuentra: el modelo Smart, diseñado para facilitar el inicio en esta nueva tecnología constructiva. Facilitando la introducción por parte de los futuros usuarios a adaptarse a la nueva tecnología.



Figura 22. Impresora SMART.
Fuente: [31]

La otra impresora de la cual disponen se denomina BEM 1 PRO (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Se trata de un dispositivo de impresión 3D móvil compuesto por 3 ejes cartesianos, capaz de imprimir cualquier tipo de modelo de vivienda, figura o forma geométrica. Está diseñada para ser empleada sin necesidad de grúas y con 3 operarios. Solo necesitaría 3 horas para su puesta en marcha.

Está equipada con electrónica de última generación, motores con inteligencia y comunicación, permitiendo poder controlar en todo momento la actividad de la máquina, y poder solucionar cualquier imprevisto en la obra. Entre sus características destaca su fácil manejo y control del dispositivo, además de incluir, con la compra del producto, un curso de formación impartido por la propia empresa en el país de destino a los futuros técnicos de control del dispositivo.

Su diseño es modulable en altura y anchura, pudiendo adaptarla según las dimensiones de la construcción. Dispone de uno de sus ejes sobre ruedas motorizadas, siendo capaz de desplazarse en este sentido de forma ilimitada, aspecto beneficioso para realizar edificaciones contiguas sin necesidad de transportar la impresora. Respecto a la velocidad de impresión es de 100mm/seg o 6m/min, lo que permite imprimir una construcción de 70 metros cuadrados en 12 horas.

A continuación, se muestran las características técnicas de la maquina más detalladas.

DIMENSIONES	13,5 x 5,7 x 2,5 m
PESO APROXIMADO	800 kg
VOLUMEN DESMONTADO	3,5 m ³
POTENCIA DE CONSUMO	6,0 kW
VOLTAJE	380 V, trifásica
FRECUENCIA	50 Hz
ALCANCE EJE “X” Y “Z”	Según dimensiones módulos
ALCANCE EJE “Y”	Ilimitado
VELOCIDAD MEDIA MOVIMIENTOS EJES	100mm/seg o 6m/min
PRECISIÓN EJE X/Y	1 mm
EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	Hormigonera y bomba
SISTEMA DE SUMINISTO DE MATERIAL	Sacos conformados

Figura 23. Características técnicas BEM 1 PRO.



Fuente: [31]



Figura 24. Impresora BEM 1 PRO.

Fuente: [31]

La impresora emplea un hormigón fabricado por la misma empresa. Se trata de un conglomerado de cemento gris, áridos finos, fibras y aditivo, preparado en fábrica y ensacado en estado seco, el cual ha sido acreditado con un certificado oficial emitido por AENOR⁵ (ANEXO 5) y que cumple con las especificaciones indicadas en la Instrucción para Hormigón Estructural EHE-08.

Para su preparación solamente necesita el agua de amasado para alcanzar todas sus propiedades de aplicación y resistencia. Es necesario el añadido de aproximadamente un 15% en peso de agua por saco de producto para conseguir una consistencia adecuada. Es importante no emplearlo a temperaturas inferiores a los 5°C ni superiores a 40°C. Adjuntamos las características específicas del hormigón.

Mínimo contenido de cemento	450 Kg/m ³
Tamaño máximo del árido	2 mm
Agua de amasado (para consistencia blanda)	15±1% en peso en saco
Densidad aparente en fresco	2100 ± 50 Kg/m ³
Densidad aparente endurecido	2300 ± 50 Kg/m ³
Consistencia según Mini Slump-Test (UNE – EN 1015 – 3)	12 ± 1 cm
Tiempo de trabajo (a 21°C)	45 minutos
Tiempo de fraguado	120 minutos; según condiciones climatológicas
Resistencia a compresión (UNE – EN 12390 – 1/2/3) respetando el contenido de agua.	> 25 MPa

Figura 25. Características hormigón FÓRMULA 3D.

⁵ Asociación Española de Normalización y Certificación.



Fuente: [31]

4.3.5. ANÁLISIS COMPARATIVO

En este apartado vamos a recopilar las características más importantes de cada máquina, para poder deducir qué sistema de impresora nos ofrece mayores beneficios, adaptándose mejor a las necesidades del ET. Únicamente, se van a comparar las características técnicas de las distintas impresoras. Las propiedades del hormigón se han nombrado curiosidad, pero al no poder obtener los datos detallados del material fabricado por cada empresa, no se incluyen en el análisis.

	APIS COR	WASP	COBOD	BE MORE 3D
Tecnología	Brazo robótico	Suspensión por cables	Pórtico	Pórtico móvil
Dimensión exterior	(4 x 1,6 x 1,5) m3	(12 x 6 x 6) m3	Modularizado (2,5 m)	3,5 m3
Material empleado	Geopolímero	Adobe (barro y paja), geopolímeros	Morteros y hormigón	Hormigón
Peso	20.000 kg	-	-	800 kg
Tiempo de instalación	30 minutos	1 hora	4-6 horas	4 horas
Personal	2 pax	3 pax	2 pax	3 pax
Potencia	8,0 kW	-	-	6,0 kW
Tensión	-	220 V monofásica o 60 V continua (energías renovables)	400 V trifásica	380 V, trifásica
Velocidad de impresión	166 mm/s	400 mm/s	1000 mm/s	100 mm/s
Área de impresión	38 m2	-	-	170 m2
Altura máxima de impresión	3 metros	12 m	8,1 metros	Según módulos empleados
Anchura máxima de impresión	-	-	14,6 metros	Sin limitación
Longitud máxima de impresión	-	-	Sin limitación	Según módulos empleados

Tabla 5. Comparación empresa.

Fuente: [Elaboración propia]

A continuación, vamos a detallar las ventajas y desventajas que podemos observar de cada uno de los diseños de impresora 3D fabricados por las distintas empresas estudiadas:



1. APIS COR, BRAZO ROBÓTICO: entre las ventajas que presenta este diseño, se encuentran el fácil manejo y transporte debido a las dimensiones tan reducidas que presenta, y la rápida puesta en marcha para iniciar la impresión. Sin embargo, el peso tan elevado provoca que los medios de transporte estén adecuados para tal carga. El radio de acción de la máquina también es un inconveniente, ya que, limita la superficie de impresión, por lo que, si el proyecto se excede a esas dimensiones, habría que mover la maquina tantas veces como sea necesario.
2. WASP, SUSPENSIÓN POR CABLES: la impresora diseñada por la empresa italiana presenta dimensiones muy elevadas en su estructura. A pesar de estar compuesta por módulos de 3 metros, este aspecto dificulta su transporte. La puesta en marcha solo dura una hora, por lo que beneficia su empleo, además en las impresiones que realice, puede alcanzar una altura máxima de 12 metros, siendo la más alta hasta el momento.
3. COBOD, PÓRTICO: este sistema es el que mejor se adapta a la fabricación aditiva de edificios. Entre sus principales ventajas destaca que su diseño está orientado a proporcionar una estructura personalizada para las distintas edificaciones clasificadas por sus dimensiones. La máquina está formada por módulos de 2,5 metros, los cuales se van añadiendo hasta conseguir una estructura que cubra las dimensiones de la edificación. Actualmente, el modelo BOD2 está limitado en dos de los ejes, pero con expectativas de alcanzar la no limitación de estos. Otro aspecto destacable, es la velocidad de impresión, es la impresora más rápida de hormigón hasta el momento. Una desventaja, es el tiempo de instalación, para preparar la maquina se necesitan entre 4 y 6 horas debido a que se necesita anclarla al suelo.
4. BE MORE 3D, PÓRTICO MOVIL: al igual que la impresora BOD2, una ventaja es el diseño modulable, pudiendo alcanzar cualquier superficie de impresión. Actualmente, solo es posible alcanzar una altura máxima de 2,5 metros. La puesta en marcha también es elevada, necesitando alrededor de 4 horas para su montaje, sin embargo, su capacidad móvil, permite realizar impresiones de varias edificaciones sin necesidad de desmontarla. Un aspecto negativo, es la velocidad de impresión, siendo la más lenta en comparación.

De entre los tres tipos de sistemas, el diseño en pórtico es el que mejor se adapta a las distintas características de una edificación, pudiendo ser empleada para cualquier tipo de proyecto y, por lo tanto, a las diferentes aplicaciones militares.

Cada uno de los diseños aporta una serie de ventajas y desventajas de acuerdo con las necesidades del ejército, pero sin ninguna duda, el modelo más completo es el sistema basado en pórtico, por los numerosos aspectos positivos mencionados anteriormente. Analizando los dos tipos de máquinas basados en pórticos, COBOD y Be More 3D, ambos tienen aspectos muy atractivos, como la velocidad de impresión de la BOD2 y la movilidad de BEM PRO, sin embargo, la maquina alemana requiere de personal más especializado para su instalación, en cambio, la empresa española está diseñada para que sea empleada por personal menos preparado. Además, la impresora Be More se adapta mejor a ciertos requerimientos del ejército, como realizar obras consecutivamente sin necesidad de desmontar la máquina.

En cuanto a las dimensiones de impresión, hay que tener en cuenta, que los ingenieros del ET solo pueden realizar el diseño de edificaciones consideradas obras de escasa entidad, reguladas en la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE), Artículo 2 [33]. En cualquier otra circunstancia, los proyectos deben llevarse a cabo por el Cuerpo de Ingenieros Politécnicos (CIP), sin embargo, pueden estar involucrados en la construcción del mismo. Gracias al diseño que tiene, se puede solo adquirir las dimensiones de necesarias.

La decisión entre elegir la impresora española o la alemana resulta un poco más complicada. Finalmente, para poder realizar una elección bajo criterio, se considera como aspecto muy



relevante, la impresión consecutiva de edificios que aporta la impresora BEM PRO, gracias a la capacidad móvil del pórtico. Aspecto muy positivo que beneficia la construcción de las infraestructuras tipo para la Instrucción y Adiestramiento (I/A) de las unidades.

4.4. COMPARACIÓN ENTRE FABRICACIÓN CONVENCIONAL Y ADITIVA

El objetivo de esta comparación es obtener una visión clara de los beneficios económicos, logísticos y temporales que se consiguen aplicando esta alternativa frente al método convencional. Para ello, se ha elegido un proyecto de carácter militar susceptible de ser fabricado por FA. De esta forma se podrán estimar las ventajas que podría proporcionar esta novedosa forma de construcción.

Tras hacer una recopilación de los tipos de proyectos que suele realizar la Sc. de Construcción integrada en la Cía. de Apoyo del RING 8, se escogió, en un primer momento, dos de las obras ejecutadas durante el año 2021. La primera consistía en una Plataforma de Tiradores, basada en una plataforma de hormigón armado para que todos los equipos de tiradores de precisión (ETP's) de la Comandancia General de Melilla (COMGEMEL) puedan seguir progresando en su instrucción específica, así como conseguir un mayor alcance de tiro en sus armas.

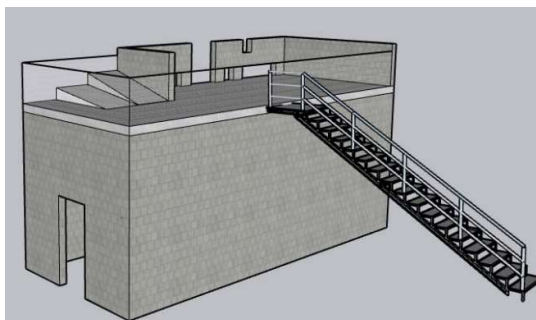


Figura 26. Plataforma de Tiro.
Fuente: [34]

La segunda consistía en el reacondicionamiento de un Polígono de Combate en Zonas Urbanizadas (PCZURB), fabricado con contenedores prefabricados de metal, que debido al elevado porcentaje de humedad presente en Melilla se han deteriorado de forma muy rápida.



Figura 27. PCZURB.
Fuente: [Elaboración propia]

De entre las dos obras seleccionadas, la comparación en cuanto a costes se va a realizar con el proyecto del PCZURB. Los motivos por los que se ha seleccionado han sido:

1. La plataforma de tiro supera la altura de impresión máxima de la impresora diseñada por Be More 3D, que es la única de la que se ha podido obtener información detallada.



FABRICACIÓN ADITIVA DE EDIFICIOS

2. Las edificaciones del polígono, se encuentran entre las dimensiones máximas de impresión de la impresora 3D.
3. El PCZURB consiste en la construcción consecutiva de varias edificaciones, permitiendo aprovechar al máximo las características técnicas de la impresora.

4.4.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

EL Acuartelamiento “Millán Astray” cuenta con diversas instalaciones destinadas a la instrucción en zonas urbanizadas (ZURB). Actualmente, los contenedores que componen el polígono se encuentran en malas condiciones debido a la corrosión, oxidación y desgaste, además presentan cierta dificultad de mantenimiento y conservación siendo necesaria una renovación y mejora de estos. Para ello, se pretende la sustitución de dichos contenedores por construcciones de obra a en base a bloques de hormigón y zapata corrida.

El proyecto consta de diferentes edificaciones de una sola planta, con distinto tamaño y distribución, estando estas compartimentadas en su interior a modo de habitaciones. No es necesario ponerles cubierta, ya que la finalidad de estas es únicamente para la instrucción. Además, la altura de las tres edificaciones es común, 2,20 metros. En el **ANEXO 6: PLANOS EDIFICACIONES** ANEXO 6 se encuentra detalladas las dimensiones de cada edificación.

Se proponen 3 modelos diferentes:

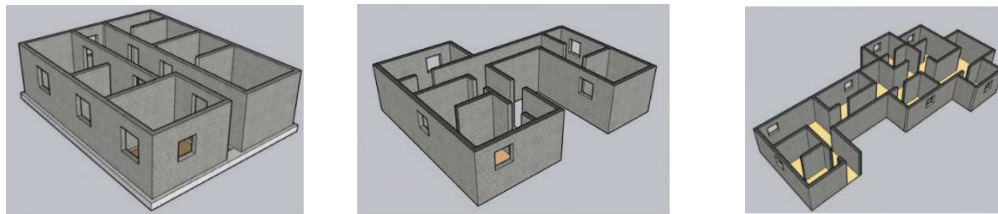


Figura 28. Modelos Edificaciones (1,2,3 respectivamente).

Fuente: [35]

4.4.1.1. MÉTODO CONVECIONAL

Aplicando el método convencional, para la construcción de cada una de las edificaciones, hay que realizar los siguientes trabajos:

- Levantamiento topográfico y replanteo de la obra.
- Preparación del terreno (nivelación, compactación y cualquier acción necesaria para conseguir una buena base de asiento).
- Preparación de la ferralla, que compondrá la armadura.
- Cimentación.
- Tiempo fraguado.
- Construcción

Para la realización de los distintos trabajos se empleará los elementos que a continuación se relacionan:

Máquinas y Vehículos	Herramientas y equipos	Personal
1 CNPTT M-250 para recogida de materiales en proveedores.	Aguja Vibrante (vibrador de hormigones).	Jefe de la compañía de apoyo del RING-8



		(control obra).
1 CNLTT tipo Aníbal Santana (en su defecto tipo VAMTAC) para los movimientos necesarios del equipo de mando (proveedores, etc.).	Remolque de iluminación Langa (si hubiera que trabajar en el arco nocturno).	Jefe de la Sc. de construcción, de la compañía de apoyo (jefe de obra).
2 empujadoras	GRE (grupos electrógenos) para alimentar las diferentes herramientas que se vayan usando.	Sc. de construcción. (30 pax)
1 motoniveladora	Herramienta y material de encofrado diverso.	1 Pn (10 pax) de la Sección de Organización del Terreno (SORTE).
2 rodillos	Herramienta y material de albañilería	
1 aljibe	Herramienta y material de peones diverso (palas, azadas de medialuna, rastrillo, etc.).	
2 retroexcavadoras	Herramienta y material de corte para hormigón y hierro (amoladoras de 115 y 230 con el disco apropiado, etc.).	
2 mini máquinas	Material para el levantamiento topográfico y el replanteo (Nivel Óptico o estación total).	
	Material de Carpintería variado (Sierra circular, caladora, etc....).	
	Andamios 10.	

Tabla 6. Logística Método Convencional.

Fuente: [Elaboración propia]

En cuanto a los costes materiales que supondrían la realización de cada edificación, en el ANEXO 7, se muestra un desglose de los precios de cada uno de los materiales empleados y las características. A continuación, se hace referencia a los costes totales de los materiales empleados para la construcción de cada modelo:

	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
CIMENTACIÓN ZAPATA CORRIDA	5.260,24 €	5.156,71 €	6.863,59 €
MUROS BLOQUES DE HORMIGÓN	3.099,60 €	2.993,55 €	4.568,55 €
TOTAL	8.359,84 €	8.150,26 €	11.431,55 €

Tabla 7. Costes Método Convencional

Fuente: [Elaboración propia]



El tiempo que llevaría la realización de cada una de las edificaciones sería de unas 20 jornadas de trabajo, siendo cada jornada de trabajo de 7,5 horas. Teniendo en cuenta que los viernes se consideran días de mantenimiento preventivo y no sería necesario emplear horas extras, abarcaría un total 5 semanas de trabajo por cada una. Los datos temporales son orientativos, ya que pueden variar a causa de factores ajenos al control de la unidad, como, por ejemplo: climatología, problemas logísticos en el suministro de materiales, guardias, etc.

También, hay que tener en cuenta los costes de mano de obra que supondría el proyecto. La consideración de estos costes resulta ser un tema complejo en el ámbito militar, ya que se haga o no el proyecto, el precio de la mano de obra sería igualmente asumido por el Ministerio de Defensa. Sin embargo, se va a realizar una estimación aproximada del número de horas dedicadas por cada una de las personas implicadas y el coste que supondría.

Otro motivo por el cual se tiene en cuenta el coste de la mano de obra es porque la comparación de los métodos se está haciendo con una empresa civil, la cual nos ha facilitado un presupuesto que incluye la mano de obra propia de la empresa y el coste que a ellos les supone. De no integrarla, la comparación no sería equitativa.

Para hallar el coste de mano de obra para ambas empresas, tanto el Ejército de Tierra como para Be More 3D, se ha recurrido a multiplicar el sueldo de cada trabajador mensual por el valor de 1,5, suponiendo que ese incremento es el coste que le supone a cada una de ellas contratar y mantener a un trabajador legalmente (cotizaciones, vacaciones, formación...). (ANEXO 8).

	SUELDO BASE MENSUAL (Bruto)	COMPLEMENTO DE EMPLEO	SUELDO TOTAL MENSUAL	VALOR COSTE EMPRESA (x1,5) MESUAL	COSTE EMPRESA ANUAL (x 14)	COSTE POR HORAS (/1642 h)
CAPITÁN	1.214,319 €	764,54 €	1.978,93 €	2.968,395 €	41.557,53 €	25,31 €
TENIENTE	1.214,39 €	638,29 €	1.852,68 €	2.779,02 €	38.906,28 €	23,69 €
SARGENTO	1.050,06 €	456,91 €	1.506,97 €	2.260,455 €	31.646,37 €	19,27 €
CABO	656,18 €	358,56 €	1.014,74 €	1.522,11 €	21.309,68 €	12,98 €
SOLDADO	656,18 €	334,02 €	990,2 €	1.485,3 €	20.794,2 €	12,66 €

Tabla 8. Costes mano de obra (por persona según rango)

Fuente: [Elaboración propia]

Empleando la herramienta Arquímedes, disponible en el programa de CYPECAD, se podrá obtener el número de horas necesarias para la realización de cada uno de los trabajos necesarios. El programa divide a los diferentes trabajadores en rangos, que extrapolados al empleo militar corresponden:

- Oficial primera = sargento.
- Oficial de 1º encofrador, ferrallista y estructurista = cabo.
- Ayudante, ayudante encofrador, ferrallista y estructurista = soldado.



FABRICACIÓN ADITIVA DE EDIFICIOS

- Peón ordinario = soldado.

Las actividades de construcción de cada edificación se van a agrupar en tres grupos:

1. Actuaciones previas y movimiento de tierras: que consiste en la limpieza y desbroce del terreno y excavación de zanjas.
2. Cimentaciones: que involucra la preparación y la instalación del encofrado, además de la realización de la zapata corrida sobre la que se asentará la estructura
3. Albañilería: que consiste en la construcción de la edificación con bloques de hormigón prefabricados.

En el ANEXO 9 se expondrá una relación de los trabajadores involucrados en cada modelo de edificación y el número de horas dedicadas. Es a partir de dicho documento, del cual podemos concluir los siguientes costes de mano de obra:

MODELO 1

- Sargentos = 111,743 horas x 19,27 € = 2.153,29 €
 - Cabos = 9,649 horas x 12,98 € = 125,24 €
 - Soldados = 78,885 horas x 12,66 € = 998,68 €
- TOTAL = 3.277,21 €

MODELO 2

- Sargentos = 102,180 horas x 19,27 € = 1.696 €
 - Cabos = 5.954 horas x 12,98 € = 77,28 €
 - Soldados = 69,952 horas x 12,66 € = 885,59 €
- TOTAL = 2.658,87 €

MODELO 3

- Sargentos = 223,860 horas x 19,27 € = 4.313,78 €
 - Cabos = 7,538 horas x 12,98 € = 97,84 €
 - Soldados = 142,873 horas x 12,66 € = 1.808,77 €
- TOTAL = 6.220,39 €

Faltaría tener en cuenta, las horas dedicadas por el capitán jefe de la compañía, cuyos cometidos serían la realización del proyecto y supervisión indirecta, y el teniente jefe de sección, cuya misión sería la supervisión directa de la realización del proyecto y realización de todos los tramites logísticos necesarios, como la adquisición de materiales y gestión de residuos. Ambos dos no tendría dedicación exclusiva, por lo que se haría una estimación de las horas dedicadas:

- Capitán = 150 horas (proyecto completo) x 25,31 € = 3.796,5 € / 3 (modelo edificación) = 1.265,5 €
- Teniente = 4 horas/día x 20 jornadas de trabajo = 80 horas x 23,69 € = 1.895,2 €

	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
COSTE MATERIAL	8.359,84 €	8.150,26 €	11.431,55 €
COSTE MANO DE OBRA	6.437,91 €	5.819,57 €	9.381,09 €
TOTAL	14.797,75 €	13.969,83	20.812,62 €



Tabla 9. Costes totales edificaciones.

Fuente: [Elaboración propia]

4.4.1.2. FABRICACIÓN ADITIVA

A continuación, se van a estudiar los mismos aspectos logísticos que supone la realización del proyecto, pero aplicando el método de fabricación aditiva. La intención inicial, era establecer contacto con cada una de las empresas que se han analizado en el apartado Estudio de Proveedores, y poder comparar las prestaciones que nos ofrecía cada una de ellas. Sin embargo, no hubo suerte, debido a que solo la empresa española Be More 3D contestó al email que se mandó. Afortunadamente, Be More 3D no solo respondió, sino que se mostró muy colaborativo para resolver cualquier duda que surgiera. Además, proporcionó el presupuesto del proyecto PCZURB, facilitando así la comparación de los dos métodos de construcción.

La empresa emplearía para este proyecto su impresora BEM PRO (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Esta impresora tiene la capacidad de realizar construcciones en serie, aspecto realmente útil en este proyecto en concreto, ya que las edificaciones se encuentran una al lado de otra, evitando así el montaje y desmontaje de la máquina entre construcciones.

A continuación, se muestra una relación de equipos y personal necesarios para la ejecución del proyecto. Hay que tener en cuenta que el trabajo de movimiento de tierras, explanación y cimentación, también hay que realizarlo, por lo que existe maquinaria común. Es por esto, por lo que tampoco se tiene en cuenta el coste que conlleva:

Máquinas y Vehículos	Herramientas y equipos	Personal
2 empujadoras	Material para el levantamiento topográfico y el replanteo (Nivel Óptico o estación total)	Diseño del proyecto (1 pax)
1 motoniveladora	GRE (grupos electrógenos) para alimentar la impresora (en caso de no haber fuente de alimentación próxima)	Equipo de montaje y control (3 pax)
2 rodillos	Impresora Bemore3D con el software de control de movimientos	
1 aljibe	Dosificación especial como consumible del dispositivo de impresión	
2 retroexcavadoras		
2 mini máquinas		

Tabla 10. Logística FA.

Fuente: [Elaboración propia]

A continuación, se muestran los costes totales de cada edificación y el tiempo de construcción, facilitados por la propia empresa (ANEXO 10). En el coste de los muros de bloques de hormigón se incluyen los costes de amortización de la máquina y la mano de obra.

	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
DIMENSIONES	7,6 X 9,6 m	8 X 9,6 m	8,6 X 18,8 m
CIMENTACIÓN ZAPATA CORRIDA	1.880,82 €	2.635,34 €	2.979,79 €
MURO BLOQUES DE HORMIGÓN	8.443,26 €	7.572,74 €	11.327,73 €



TOTAL	10.324,08 €	10.208,07 €	14.307,51 €
TIEMPO EJECUCIÓN	14 horas	14 horas	28 horas

Tabla 11. Costes FA
Fuente: [Elaboración propia]

Al tiempo de ejecución hay que sumar el tiempo de montaje y desmontaje de la impresora, siendo 4 horas para el montaje y 4 para el desmontaje. Pero solo se tendría en cuenta una vez, ya que como se ha mencionado anteriormente, la maquina tiene la capacidad de imprimir construcciones en serie sin necesidad de desmontarla.

Respecto al coste de la mano de obra, la empresa Be more 3D ya los ha incluido en el presupuesto de las edificaciones. Pero para tener un mayor detalle de las condiciones impuestas, cada operario le costaría a la empresa 90€ x 1,5 (valor establecido) al día, si el proyecto se realiza en la zona de acción de la empresa, siendo la opción elegida. De no ser así, el valor de ese coste aumentaría a 200€ x 1,5 al día. La jornada laboral sería de 8 horas, con posibilidad de 2 horas extra que no se han incluido en el presupuesto.

4.4.1.3. COMPARACIÓN DE RECURSOS Y COSTES

Finalmente, se realizará una comparación de todos los aspectos analizados para conocer las ventajas más destacadas que nos ofrece la FA frente al método empleado por la unidad de ingenieros:

1. Material: con el empleo de la FA, se necesita una cantidad mucho menor equipo (maquinaria, vehículos, herramientas, etc). La maquinaria y los vehículos destinados a la explanación del terreno se mantienen, ya que esa actividad hay que hacerla igualmente. Sin embargo, todo el material de encofrado, material de albañilería, madera, herramientas varias, se han reducido tras sustituirlas por la impresora.

MÉTODO CONVENCIONAL		FA	
Máquinas y Vehículos	Herramientas y equipos	Máquinas y Vehículos	Herramientas y equipos
1 CNPTT M-250 para recogida de materiales en proveedores.	Aguja Vibrante (vibrador de hormigones).	2 empujadoras	Material para el levantamiento topográfico y el replanteo (Nivel Óptico o estación total)
1 CNLTT tipo Aníbal Santana (en su defecto tipo VAMTAC) para los movimientos necesarios del equipo de mando (proveedores, etc.).	Remolque de iluminación Langa (si hubiera que trabajar en el arco nocturno).	1 motoniveladora	GRE (grupos electrógenos) para alimentar la impresora (en caso de no haber fuente de alimentación próxima)
2 empujadoras	GRE (grupos electrógenos) para alimentar las diferentes herramientas que se vayan usando.	2 rodillos	Impresora Bemore3D con el software de control de movimientos
1 motoniveladora	Herramienta y material de encofrado diverso.	1 aljibe	Dosificación especial como consumible del dispositivo de impresión
2 rodillos	Herramienta y material de albañilería	2 retroexcavadoras	
1 aljibe	Herramienta y material de peones diverso (palas, azadas de medialuna, rastrillo, etc.).	2 mini máquinas	
2 retroexcavadoras	Herramienta y material		



	de corte para hormigón y hierro (amoladoras de 115 y 230 con el disco apropiado, etc.).		
2 mini máquinas	Material para el levantamiento topográfico y el replanteo (Nivel Óptico o estación total).		
	Material de Carpintería variado (Sierra circular, caladora, etc....).		
	Andamios 10.		

Tabla 12. Comparación maquinaria, vehículos, herramientas y equipos.

Fuente: [Elaboración propia]

2. **Mano de obra:** la reducción de la mano de obra también es considerable, minimizando así los problemas de falta de personal por las distintas vicisitudes que se generan en la unidad. La implementación de la FA permite reducir la mano de obra requerida en un proyecto. Permitiendo realizar un desplazamiento de ese personal sobrante a otro puesto donde sea necesario, solventando los problemas de falta de activos frecuentes en una unidad, debido a infinidad de motivos, como actividades de instrucción, guardias o por encontrarse en situación de reducción de jornada.

MÉTODO CONVENCIONAL	FABRICACIÓN ADITIVA
Personal	Personal
Jefe de la compañía de apoyo del RING-8 (control obra).	Diseño del proyecto (1 pax)
Jefe de la Sc. de construcción, de la compañía de apoyo (jefe de obra).	Equipo de montaje y control (3 pax)
Sc. de construcción. (30 pax)	
1 Pn (10 pax) de la Sección de Organización del Terreno (SORTE).	

Tabla 13. Comparación personal.

Fuente: [Elaboración propia]

3. **Ahorro temporal:** la construcción de cualquiera de las edificaciones, la impresora 3D la finalizaría en menos tiempo que el método convencional, siendo 14-28 horas frente a 30 horas. Sin embargo, en proyectos como el que se está estudiando, que consiste en la construcción de varias edificaciones (20 edificaciones aproximadamente, aunque no se encuentran estimadas en el proyecto), el método convencional nos permite simultanear la ejecución de algunas actividades. Esta ventaja solo se conseguiría con la FA si se tiene varias impresoras.

Es por estos motivos, por los que el ahorro temporal no sería destacable si se emplea la maquinaria únicamente durante las horas de jornada laboral como se ha supuesto. La ventaja que proporciona esta tecnología es que la impresora puede trabajar un mayor número de horas sin descanso con una supervisión mínima. Es en este caso, cuando si se obtienen ventajas temporales considerables.

4. **Costes totales (material y mano de obra):** en relación con los costes totales de las construcciones, se puede observar que resulta mucho más económico el empleo de la FA para la construcción de las diferentes edificaciones. Suponiendo un ahorro del 30% respecto al coste total empleando el método actual.



	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
MÉTODO CONVENCIONAL	14.797,75 €	13.969,83	20.812,62 €
FABRICACIÓN ADITIVA	10.324,08 €	10.208,07 €	14.307,51 €

Tabla 14. Comparación costes totales.
Fuente: [Elaboración propia]

4.5. ADQUISICIÓN DE LA TECNOLOGÍA

En este último apartado del desarrollo, tras analizar las ventajas e inconvenientes del nuevo método de construcción, se va a proceder con el estudio de la posible compra de una impresora 3D, y el empleo de esta en ZO. Finalmente, expondrán algunos ejemplos donde puede ser empleada la máquina.

4.5.1. COSTES ADQUISICIÓN IMPRESORA 3D

De entre todas las impresoras analizadas anteriormente, se ha observado que la impresora diseñada por la empresa español Be More 3D se adapta perfectamente a las necesidades del Ejército de Tierra. Además, con esta elección favorecemos que el objetivo establecido para la fuerza en el año 2035 se alcance con mayor facilidad, al colaborar con las universidades españolas y con aquellos sectores empresariales y comerciales innovadores de nuestro interés. [1]

En ANEXO 11 se facilitan los costes y elementos que acompañan a la impresora en caso de ser adquirida. En el mismo anexo, se propone una idea de compra como referencia. En ella se puede observar que el coste del pack más sencillo es de 286.000 €, el cual incluye la formación de dos técnicos. Además, la empresa ofrece componentes de repuesto y diferentes servicios que no están incluidos en la oferta configurada.

Usando de ejemplo el proyecto del PCZURB y sabiendo el coste del proyecto ahorrado al implementar la FA, podemos deducir grosso modo el número de obras de ese tipo que se deberían hacer para amortizar la adquisición de la maquina BEM PRO:

- Si en la realización del modelo 1 se ahorra un 30% que equivale a 4.473 €, con la realización de 64 obras de esas características para recuperar la inversión inicial.
- Si en la realización del modelo 2 se ahorra un 30% que equivale a 3.761 €, con la realización de 76 obras de esas características para recuperar la inversión inicial.
- Si en la realización del modelo 3 se ahorra un 30% que equivale a 6.505 €, con la realización de 44 obras de esas características para recuperar la inversión inicial.

4.6. EFECTOS EN ZONA DE OPERACIONES

Finalmente, para decidir si la tecnología estudiada a lo largo de la memoria puede ser empleada por las unidades del ejército español, hay que analizar la posibilidad de ser proyectada para ser empleada en territorio internacional. Para ello, se estudian los factores que conllevan la realización de un proyecto en el extranjero y los aspectos que se verían alterados al aplicar la impresión 3D.

Inicialmente, se realizó una entrevista, el 23 de septiembre de 2021, al Capitán Álvaro Millán Panadero, jefe de la compañía de apoyo del RING-8 de Melilla. El capitán cuenta su experiencia



en la Operación Inherent Resolve, realizada durante el año 2015, como miembro de la primera rotación en, Besmayah (Irak). Entre los cometidos desempeñados, ejerció el mando de la sección de montaje y la sección de construcción, además, fue jefe responsable del equipo de trabajadores civiles contratados para la realización de las obras. Los diferentes trabajos iban dirigidos a reacondicionar la base de operaciones para ser empleada por las fuerzas propias y aliadas.

Entre los problemas que se encontró, destaca la falta de recursos materiales, maquinaria y herramientas necesarias para la realización los trabajos, problemas que solventaron recurriendo a los recursos locales. En cuanto al personal civil que trabajaba en el proyecto, únicamente desempeñaban la función de operarios de la maquinaria contratada. En relación con la experiencia adquirida, considera que recurrir a los recursos locales, no solo permite solventar los problemas de abastecimiento que puedan existir, sino que, además, facilita la armonización de estrechar lazos con la población local. En cuanto a la implementación de la Fabricación Aditiva en ZO, considera que podría contribuir en la reducción de la inversión económica que se realiza actualmente, al minimizar la necesidad de recursos, sin embargo, podría afectar negativamente al establecimiento de relaciones con la población local.

Además, gracias a las experiencias vividas por numerosos expertos, recopiladas en un documento de lecciones aprendidas [36], se puede afirmar que el éxito de la misión depende en gran medida del reconocimiento inicial. Hay que realizar un estudio previo de la cualificación de las empresas locales, ya que, la calidad del servicio y materiales adquiridos influirá decisivamente en los plazos de ejecución y en alcanzar los estándares de calidad requeridos.

La Cía. de Construcción, como una unidad fundamental de trabajo de especialidades, tiene como cometido principal proteger a las fuerzas, construyendo y preparando obras de fortificación y manteniendo o creando la infraestructura necesaria para la proyección y el sostenimiento de la fuerza en operaciones. Debido a la preparación técnica de su personal y a los medios de que dispone, son especialmente aptas para ser empleadas en [37]:

- Misiones de ayuda a la población civil ante cualquier tipo de catástrofe.
- Apoyar la instalación de campamentos para uso de fuerzas proyectadas.
- Reforzar a las unidades de castrametación, particularmente en capacidades de alta especialización tales como captación de agua, redes eléctricas, construcción y fortificación.
- Redacción y ejecución de proyectos de construcción y/o rehabilitación de edificaciones, empleo de prefabricados e instalaciones eléctricas y de aguas limpias y residuales.

Entre los problemas que suelen surgir en la realización de los diferentes cometidos en ZO, destacan la necesidad de contratar las máquinas necesarias para realizar los movimientos de tierra, previos a una construcción. Estas máquinas normalmente presentan problemas de mantenimiento retrasando los plazos de finalización de las obras. Por otro lado, la mayor parte del material local, sobre todo en lo que, a cemento, áridos, fontanería y electricidad se refiere, no alcanzan los estándares de calidad. Por lo tanto, resulta necesario aportar este tipo de material y los repuestos necesarios para solventar los problemas de maquinaria desde España.

El empleo de una impresora 3D, minimizaría considerablemente los problemas en los plazos de ejecución del proyecto. Además, permite reducir la necesidad de personal especializado debido al bajo número de trabajadores necesarios para llevar a cabo el proyecto. En cuanto, a los problemas logísticos de transporte de maquinaria y material, supondrían una reducción del volumen a transportar, por el ahorro de todo el material relacionado con el encofrado de la infraestructura. El traslado de la impresora con sus respectivos elementos complementarios, como la hormigonera y la bomba de extrusión, requiere de un contenedor de 20 pies, sobrando espacio para repuestos y sacos conformados de hormigón especial seco.



Un posible inconveniente que podría ocasionar la utilización de este nuevo método de construcción, sería la falta de recursos específicos. En ZO, debido a la novedad de la tecnología y por lo tanto, el déficit de proveedores dificulta la obtención de recambios y material, siendo necesario establecer un apoyo logístico desde TN. Entre los recambios más críticos, destaca la bomba de extrusión, debido a que su fabricación solo la realiza la propia empresa Be More 3D. En cuanto al material, se podrá disponer de él ya confeccionado, adquiriéndolo directamente en España, u otra opción sería fabricarlo in situ con los materiales locales con el riesgo que se ha mencionado anteriormente.

Finalmente, para el empleo de la impresora, es necesario disponer de una fuente de alimentación de acuerdo con las características de la máquina (Sistema trifásico de potencia de 6,0 kW y tensión 380 V). Para ello el ejército dispone del Grupo Electrógeno SPA 12kVA`S TRIFÁSICO, entre otros de mayor capacidad. No teniendo que ocasionar ningún problema.

Por otro lado, hay que tener en cuenta otro aspecto de gran relevancia en ZO. La población civil pasa a ocupar un papel preferente en entornos en los que se mezclan combatientes y no combatientes. La adecuada interacción con la población local es imprescindible para asegurar el apoyo a la participación en el conflicto y la aceptación de fuerzas sobre el terreno.

La Cooperación Cívico-Militar (CIMIC) son el conjunto de actividades encaminadas a conseguir el apoyo a la misión mediante la cooperación y coordinación entre el Mando de la Fuerza y el entorno civil del área donde son o van a ser empleadas Fuerza Militares. El entorno civil incluye a la población, autoridades, organizaciones y agencias locales, nacionales o internacionales, bien sean gubernamentales o no.

Puede darse la circunstancia, como hemos mencionado anteriormente, de que haya que contar con los servicios de contratistas locales para cubrir algunas necesidades logísticas. A su vez, son sensores que nos pueden aportar cualquier tipo de información necesaria, ya sea de carácter logístico o de otros ámbitos. La implementación de una impresora 3D para la construcción de infraestructuras supone una reducción de la plantilla y, por lo tanto, minimiza las necesidades de contratación de mano de obra civil local en ZO. Este aspecto podría afectar a las relaciones cívico-militares necesarias para armonizar la presencia militar en el territorio donde se desarrolla la operación.

4.7. APLICACIONES MILITARES

En el apartado Estado del Arte de esta memoria se presentaron los pocos ejemplos publicados de aplicación militar de la FA de edificios. Con el fin de ampliar estas posibles aplicaciones en el ámbito del ET, se ha procedido a realizar una recopilación de las infraestructuras de mayor relevancia para mejorar la I/A de la fuerza, recogidas en el Plan de Infraestructuras de Apoyo a la Instrucción, Adiestramiento y Evaluación (IAE), y para las que se podría aplicar la impresión 3D.

Se muestran también, algunos ejemplos de las construcciones más comunes llevadas a cabo en ZO, dentro de las Bases construidas. Y, por último, se muestra una infraestructura que nos permite fabricar la impresora 3D, gracias a su flexibilidad de construcción, que se asemeja a una de las instalaciones semipermanentes que dispone el ejército.

Tras realizar este proceso, las posibles aplicaciones concretas de uso de la FA de edificios que se han identificado son las siguientes. [38]

INSTALACIONES DE APOYO PARA EL USO DE FUEGO REAL (ANEXO 12)

- Galería de tiro (abierta o cerrada).
- Campo de tiro de precisión (CTP), concretamente los asentamientos de los tiradores.
- Campo de lanzamiento de granadas de mano (CLGM) de guerra, las diferentes



FABRICACIÓN ADITIVA DE EDIFICIOS

- posiciones existentes.
- Campo de explosivos (CEXP), en la creación de los diferentes refugios para garantizar la seguridad.

INSTALACIONES PARA EL COMBATE EN ZONA URBANA (CZURB) (ANEXO 13)

- Torre multiusos.
- Instalaciones, núcleos y polígonos de combate en zona urbana (PCZURB).

INSTALACIONES PARA LA INSTRUCCIÓN CONTRA LA AMENAZA IED (C-IED) (ANEXO 14)

- Travesía urbana.

Además, se podría emplear para otro tipo de aplicaciones, como por ejemplo en la construcción de Bases de Apoyo en operaciones, las cuales cuentan con numerosos refugios de hormigón para garantizar la seguridad y el bienestar de los residentes. Se muestran algunos ejemplos en la Figura 29, [36]



Figura 29. Refugios de Hormigón.

Fuente: [36]

Finalmente, una forma de aprovechar la ventaja que tiene la impresora de fabricar estructuras flexibles es imprimiendo edificaciones con forma similar a la estructura semipermanente Abri-Shelter. Para tener una idea de la estructura, la empresa Be More 3D ha construido una estructura similar empleada como parada de autobús en la ciudad de Valencia.



Figura 30. Abri-Shelter.

Fuente: [39]



Figura 31. Parada de autobús Be More 3D.
Fuente: [31]



5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1. CONCLUSIONES

El estudio realizado en este trabajo ha permitido avanzar en el conocimiento sobre la aplicabilidad en las FFAA de la Fabricación Aditiva, especialmente, en el ámbito de la construcción. Se han estudiado las diferentes aplicaciones, tanto militares como civiles, que ha tenido en diferentes ámbitos. Además, se han estudiado los avances que ha realizado el ejército estadounidense en el ámbito de la construcción, avances que demuestran la utilidad de su empleo a nivel militar.

Con la realización del plan de viabilidad, se han observado los puntos débiles y problemas a los que se van a enfrentar las unidades de ingenieros con la implementación de la tecnología, deduciendo que dichas desventajas son debido a la novedad del método de construcción, como la falta de experiencia y la limitación de proveedores, y que son problemas que se solventarían a medida que se vaya desarrollando.

Con el estudio de proveedores, se pretendía analizar los distintos diseños de impresora y seleccionar el modelo que mejor se adapta a las necesidades militares. Tras esa comparación, se deduce que la impresora en pórtico presenta mayores ventajas sobre el resto y se adapta mejor a los proyectos ejecutados por el ejército. Las impresoras en pórtico analizadas fueron la impresora BOD2 por la empresa COBOD y la impresora BEM PRO por la empresa española Be More 3D. Pero solo se pudo establecer contacto con la compañía española, para continuar con el estudio.

Tras contactar a dos miembros de la empresa Be More 3D, ambos colaboraron con el análisis facilitando los datos necesarios para poder comparar el método convencional frente a la FA, y así poder analizar las ventajas económicas que aporta la impresión 3D. Entre los beneficios, destaca el ahorro temporal, que no resulta ser tan destacable por el tipo de proyecto estudiado, la reducción de la mano de obra, la reducción de materiales a emplear, por consecuencia la reducción de generación de residuos, y para finalizar, el ahorro económico. Con el ahorro económico y con los datos de coste de la impresora BEM PRO, se ha podido estimar una aproximación temporal de amortización, para conocer cuánto debería ser empleada la tecnología para empezar a ser rentable.

Finalmente, se ha analizado la situación de tener que emplear esta tecnología en Zona de Operaciones, para conocer y poder enfrentarnos a las consecuencias que conlleva. Como inconvenientes específicos, sería la disponibilidad de repuestos y hormigón de impresión, que debería ser suministrados desde TN. Aunque el uso de la máquina implica disponer de fuente de energía y de agua, este aspecto es algo que también necesita el método convencional, por lo que no supondría ningún riesgo adicional.

El empleo de una impresora 3D en misiones, facilita la confección de múltiples proyectos cumpliendo o incluso mejorando los tiempos de finalización de estos, aspecto que no se puede controlar empleando los medios civiles de la zona. Sin embargo, el no tener que depender de los medios locales podría afectar a las relaciones con la población civil, por lo que habría que buscar un equilibrio entre ambos aspectos, siendo necesario un estudio exhaustivo de la situación y buscar alternativas para estrechar lazos con la población.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. d. Tierra, «Fuerza 35,» 2019.
- [2] «Fabricación Aditiva,» [En línea]. Available: <http://www.fabricacionaditiva.online/5.htm>.
- [3] anónimo, «TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN ADITIVA,» *3Dnatives*.
- [4] «Ingeniería 3D Digital,» [En línea]. Available: <https://ingenieria3ddigital.es/servicio-de-impresion-3d/ventajas-y-desventajas-de-la-impresion-3d/>.
- [5] Redacción, «VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS IMPRESORAS 3D. MEJORES IMPRESORAS 3D 2021,» *Mercado Actual*, 2021.
- [6] J. BARGMANN, «Urbee 2, the 3D-Printed Car That Will Drive Across the Country,» *Popula Mechanics*, 2013.
- [7] Redacción, «Los huesos hechos en impresora 3D ya están aquí,» *BBC Mundo*, 2012.
- [8] J. Montoya, «Crean una réplica del David de Miguel Ángel con impresión 3D,» *CNN Español*, 2021.
- [9] L. C., «Las aplicaciones de la impresión 3D en el arte,» *3Dnative*, 2021.
- [10] L. C., «Annie Foo, la diseñadora de zapatos únicos con impresión 3D,» *3Dnatives*, 2019.
- [11] M. Griffin, «Fanatical Futurist,» 17 October 2017. [En línea]. Available: <https://www.fanaticalfuturist.com/2017/10/modern-meadow-gets-ready-to-bring-3d-printed-meat-and-leather-to-new-york/>.
- [12] L. C., «Top 10 de aplicaciones militares con impresión 3D,» *3Dnatives*, 2016.
- [13] L. Palacios, «La impresión 3D llega también al armamento y a la Defensa,» *La nueva de España*, 13 Septiembre 2017.
- [14] C. Beni, «Fabricación Aditiva: Un Mundo de Ventajas,» *Revista digital Tierra n° 257*, Noviembre 2017.
- [15] OVACEN, «Tecnología en obras, una casa con impresora 3D en 24 horas,» *OVACEN*, 2017.
- [16] J. W. y. X. W. Peng Wu, «A critical review of the use of 3-D printing in the construction,» *Curtin University*, p. 27.
- [17] A. M., «¿Cómo funciona una impresora 3D de hormigón?,» *3Dnatives*, 2021.
- [18] R. L. W. I. L. S. B. y. D. C.-L. Paul Bosscher, «Automation in Construction: Cable-suspended robotic contour crafting system,» 2007.
- [19] C. Aditivos, «Chryso informa sobre el Hormigón 3D,» *Concreto Online*, 2021.
- [20] D. Jaimovich, «Cómo las impresiones en 3D están revolucionando el mundo de



la construcción,» *Infobae*, 2020.

- [21] «Apis Cor, Proyecto Dubai,» [En línea]. Available: <https://www.apis-cor.com/dubai-project>.
- [22] A. Cruickshank, «El primer hogar impreso en 3D utilizando solo materiales naturales,» *Place Tech*, 2018.
- [23] Redacción, «Pasarela impresa en 3D por la Marina de Estados Unidos,» *Imprimalia 3D*, 2019.
- [24] M. Jazdyk, «Army enhances 3-D technology to build structures,» *U.S Army*, 2017.
- [25] A. M., «Vídeos 3D: Imprimen en 3D cuarteles militares para soldados estadounidenses.,» *3natives*, 2021.
- [26] Profesores, «Gestion de Adquisiciones,» de *Oficina de Proyectos*, Zaragoza, Centro Universitario de la Defensa, 2020/2021.
- [27] Profesores, «Gestión de Riesgos,» de *Oficina de Proyectos*, Zaragoza, Centro Universitario de la Defensa, 2020/2021.
- [28] «Apis Cor,» [En línea]. Available: <https://www.apis-cor.com/knowledge-base>.
- [29] «WASP,» [En línea]. Available: <https://www.3dwasp.com/en/>.
- [30] «COBOD,» [En línea]. Available: <https://cobod.com/bod2/>.
- [31] «Be More 3D,» [En línea]. Available: <https://bemore3d.com/dispositivos/>.
- [32] S. A. Soriano, «Diseño de una impresora,» 2019.
- [33] J. D. ESTADO, «BOE núm. 266,» 1999.
- [34] T. A. F. Llamazares, «Plataforma de Tiro,» 2020.
- [35] T. A. F. Llamazares, «Renovación de la Instalaciones de Combate en Zonas Urbanizadas,» 2021.
- [36] D. O. y. M. Dirección de Investigació, «EXPERIENCIAS Y LECCIONES SOBRE INFRAESTRUCTURAS EN OPERACIONES,» 2011.
- [37] M. d. A. y. Doctrina, «PD4-406,» 2011.
- [38] E. MANDO DE ADIESTRAMIENTO, «PLAN DE INFRAESTRUCTURAS DE APOYO A LA IAE,» 2019.
- [39] R. Nº8. [En línea]. Available: alcantara.fotografis.es.



ANEXOS

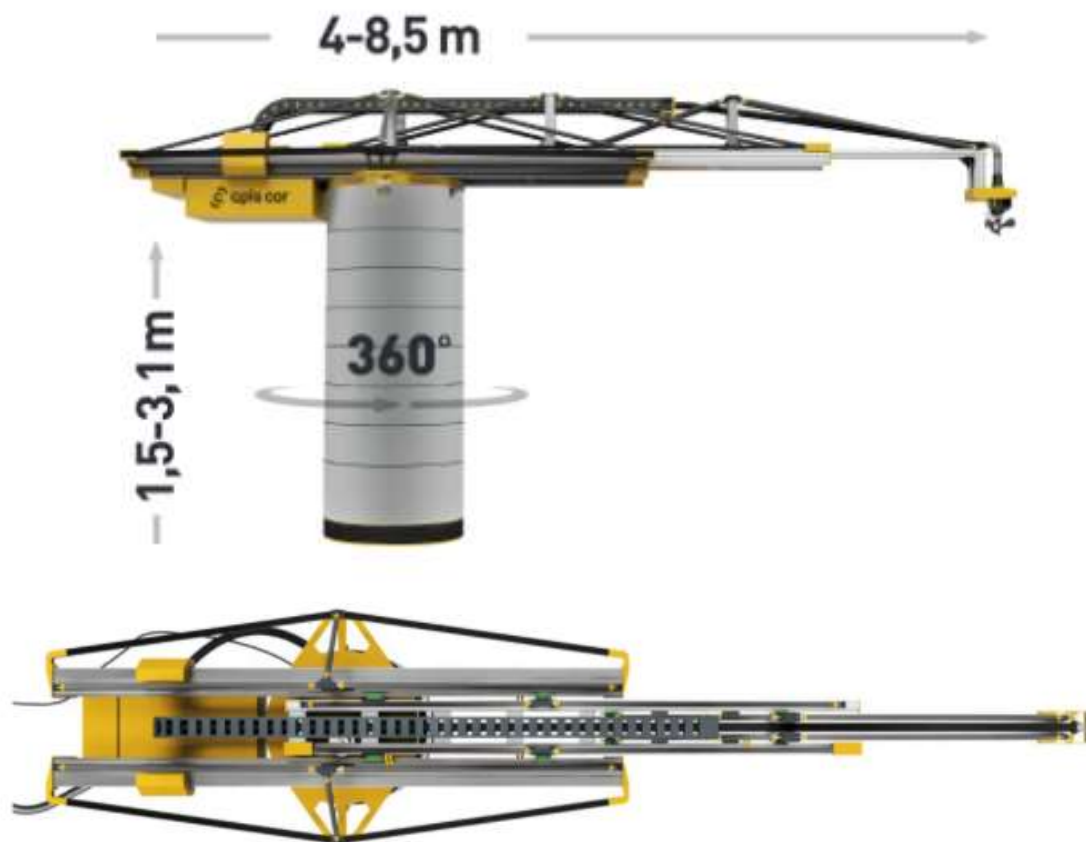
En este apartado se presentan los anexos a los que se hace referencia a lo largo de la memoria del proyecto. Estos anexos ayudarán a la comprensión de cada uno de los apartados donde han sido mencionados. En la siguiente lista se nombran los anexos con los que cuenta el proyecto:

ANEXO 1. ANÁLISIS DE RIESGOS	43
ANEXO 2. IMPRESORA APIS COR	44
ANEXO 3. IMPRESORA BOD2, COBOD	45
ANEXO 4. IMPRESORA BEM 1 PRO	46
ANEXO 5. CERTIFICADO ISO FÓRMULA 3D	47
ANEXO 6: PLANOS EDIFICACIONES	53
ANEXO 7. DESGLOSE DE COSTES	56
ANEXO 8. RETRIBUCIONES	59
ANEXO 9. HORAS DEDICADAS POR TRABAJADOR	60
ANEXO 10. PRESUPUESTO FA	61
ANEXO 11. PRESUPUESTO BEM PRO	65
ANEXO 12. INSTALACIONES DE APOYO PARA EL USO DE FUEGO REAL.....	66
ANEXO 13. INSTALACIONES PARA EL COMBATE EN ZONA URBANA.....	67
ANEXO 14. INSTALACIONES PARA LA INSTRUCCIÓN CONTRA LA AMENAZA IED ..	68

ANEXO 1. ANÁLISIS DE RIESGOS

Evaluación de riesgos									
ID	Descripción riesgo	Categoría riesgo	Causa del riesgo	Impacto (H,M,L)	Probabilidad (1,2,3)	Clase riesgo	Efectos riesgo	Medida / Alternativas	Clase riesgo tras medida
1	Falta de personal habilitado	Personal	Plazas reducidas para realizar el curso de especialización.	H	2	2H	Mayor probabilidad de no poder usar la maquinaria.	Aumento de plazas para la realización del curso.	1L
2	Accidente laboral	Personal	Personal accidentado durante el montaje o el desmontaje de la máquina. Durante la explanación del terreno.	H	1	1H	Reducción de la plantilla, provocando una mayor falta de personal.	Advertir previamente al uso de la máquina de los posibles riesgos que pueden surgir en el montaje.	1M
3	Falta de experiencia	Técnico	Poca experiencia por parte del personal con la impresora y con la realización del diseño digital.	M	3	3M	Aumento del plazo temporal y disminución de la precisión.	Aumentar las actividades de instrucción del empleo de la impresora 3D, realizando proyectos simulados.	2M
4	Imposibilidad de uso de la maquinaria	Personal	Las personas habilitadas para el uso de las distintas máquinas, tienen que realizar otro tipo de actividades como ejercicios de instrucción y las distintas guardias.	M	2	2M	Incumplimiento de los plazos temporales, paralización del proyecto por falta de personal.	Aumentar el número de personal habilitado.	1L
5	Error en el diseño del proyecto	Diseño y requisitos	Errores en el empleo del CAD, falta de experiencia en el uso del software.	L	1	1L	Retraso en la ejecución del proyecto.	Realizar el diseño de proyectos simulados para adquirir soltura con el software de diseño digital. Facilitar la realización de cursos de diseño digital.	1L
6	Impresora 3D defectuosa	Calidad	Error durante el proceso de fabricación, deterioro por uso o durante su transporte.	H	1	1H	Incumplimiento de los plazos temporales, debido a la imposibilidad de uso de la máquina.	Disponer de personal capacitado para recuperar la maquinaria, o garantizar una buena red de comunicación con el proveedor para solventar este tipo de problemas lo antes posible.	1M
7	Falta de repuestos	Material	Cualquiera de los elementos de la máquina sufre una avería que le impide funcionar correctamente y no se dispone de recambio en el momento.	H	1	1H	Incumplimiento de los plazos temporales, debido a la imposibilidad de uso de la máquina.	Aumentar el inventario de repuestos más sensibles en la propia unidad, para disponer de las piezas necesarias in situ.	1M
8	No disposición de recursos necesarios para fabricar el hormigón	Desarrollo	Error del proveedor, problemas en la confirmación de material, fecha de entrega y/o lugar.	H	2	2H	Retraso en la ejecución del proyecto. A la espera del suministro del proveedor.	Anticiparse considerablemente en el tiempo para alertar al proveedor del material a necesitar. Disponer de un proveedor alternativo en caso de fallo del principal.	1M
9	Hormigón fabricado no cumple los requisitos técnicos	Diseño y requisitos	Error en el proceso de fabricación, no cumple los requerimientos establecidos por el CTE o las necesidades establecidas para una obra en concreto.	M	1	1M	Pérdida de material, inicio del proceso de fabricación del hormigón necesario.	Contar con personal cualificado para la fabricación del material. Realizar ensayos previos a la producción de una gran cantidad.	1L
10	Condiciones meteorológicas extremas	Planificación temporal	Temperaturas extremas, lluvias torrenciales que impidan la realización del proyecto.	L	2	2L	Paralización del proyecto.	Realizar un estudio meteorológico previo a la planificación temporal del proyecto. Asumir un cierto porcentaje de días, en los cuales se imposibilite continuar con la construcción.	1L
11	Problemas de transporte	Desarrollo	Falta de medios para trasladar la maquinaria a la zona de realización del proyecto debido a las dimensiones.	M	2	2M	Dificultad de realizar un proyecto fuera de nuestra área de acción.	Realizar un continuo mantenimiento de los vehículos necesarios para el transporte del material. Disponer de alternativas en caso de inoperatividad de los mismos.	1M

ANEXO 2. IMPRESORA APIS COR



ANEXO 3. IMPRESORA BOD2, COBOD



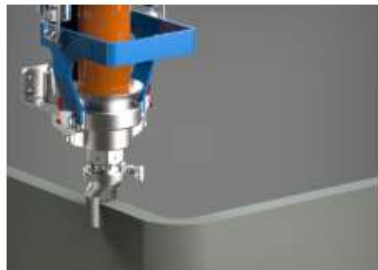
Concrete feet installation



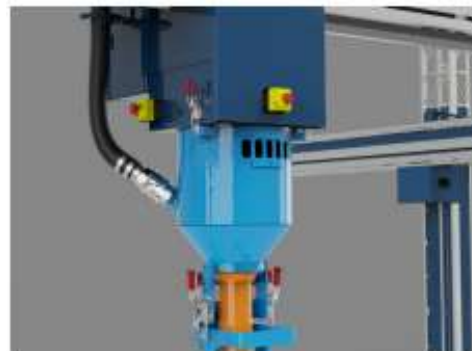
Triclamp for changing and fixing nozzles



Live camera setup



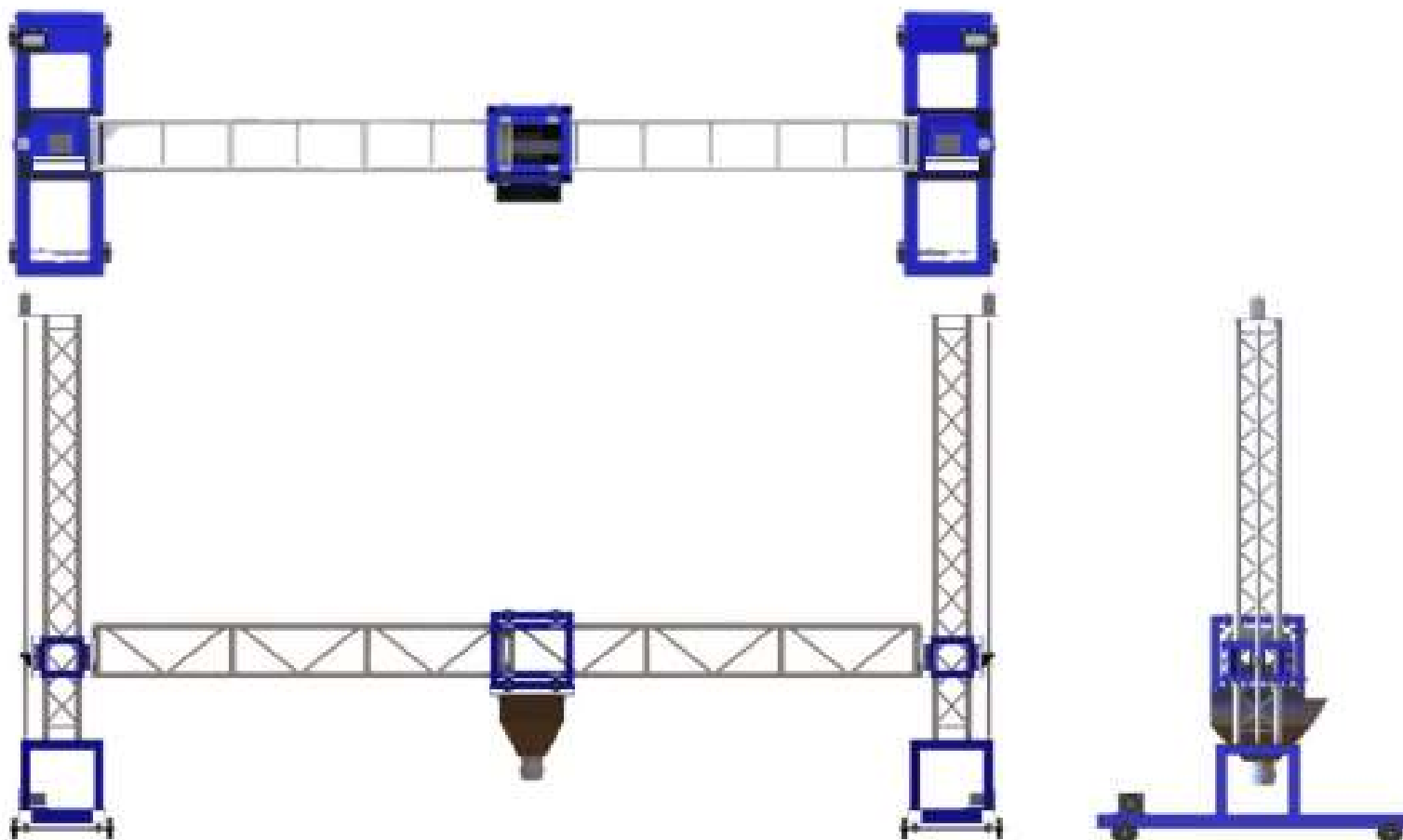
Tangential control



Material hopper



ANEXO 4. IMPRESORA BEM 1 PRO



AENOR

Certificado de constancia de las prestaciones

CE

0099

0099/CPR/A33/0903

En cumplimiento del Reglamento de Productos de Construcción (UE) 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011, el organismo notificado AENOR (nº 0099) ha emitido este certificado a favor de:

CEMEX ESPAÑA OPERACIONES, S.L.U.

con domicilio social en: EL HERNÁNDEZ DE TEJADA, 1 28027 MADRID (España)

Producto de construcción: Cemento

Norma armonizada: EN 197-1:2011

Cemento: CEM II/A-42,5 R

Centro de producción: PARTIDA FOYCALENT, B26/B28 03113 ALICANTE (España)


Esquema de certificación: Para emitir este certificado se han aplicado todas las disposiciones del sistema 1 para la evaluación y verificación de las prestaciones y de su constancia, según lo describe en el Anexo D4 de la norma armonizada mencionada. El producto cumple todos los requisitos establecidos en ella.

Este certificado se concedió por primera vez en la fecha de emisión abajo indicada y permanecerá en vigor hasta su fecha de expiración, siempre y cuando no hayan cambiado los métodos de ensayo y los requisitos del control de producción en fábrica incluidos en la norma armonizada para evaluar las prestaciones de las características declaradas, y el producto y las condiciones de fabricación no se hayan modificado significativamente.

Fecha de primera emisión: 2014-03-11

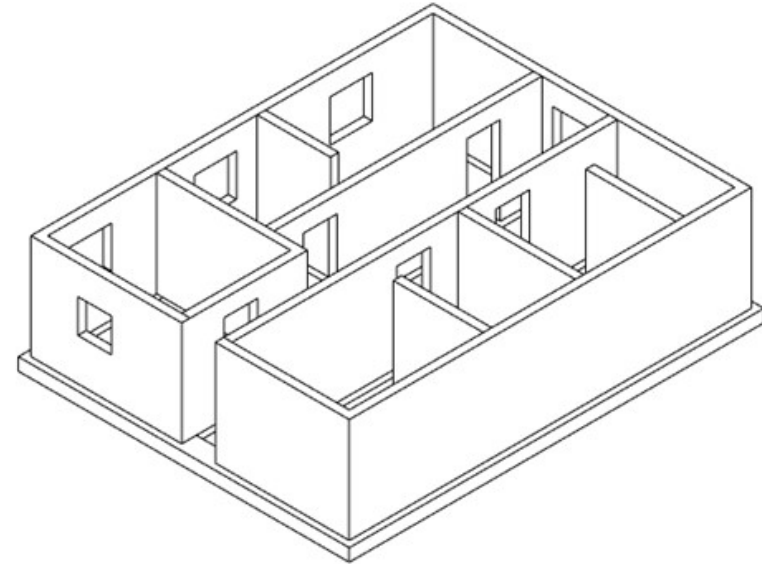
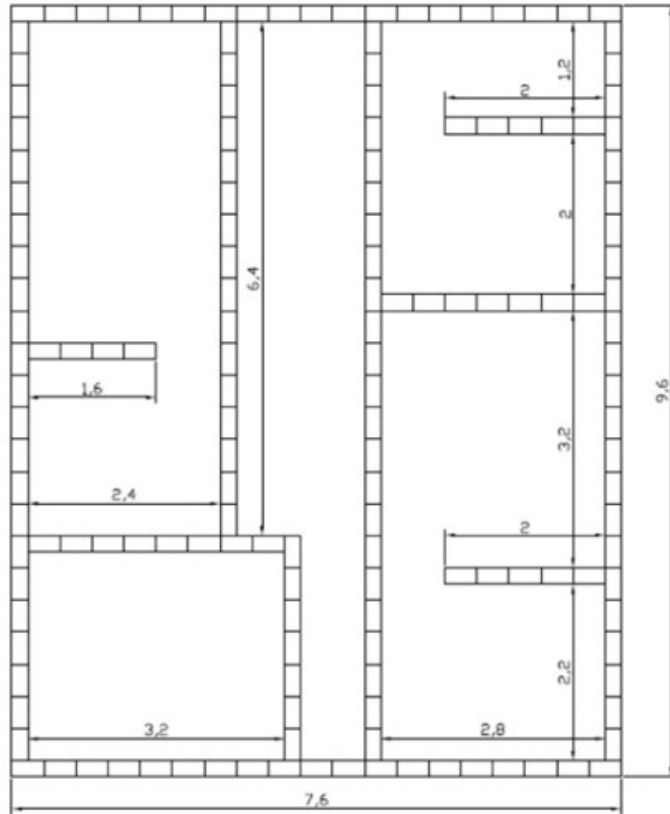
Fecha de última emisión: 2019-03-11

Fecha de expiración: 2020-03-11

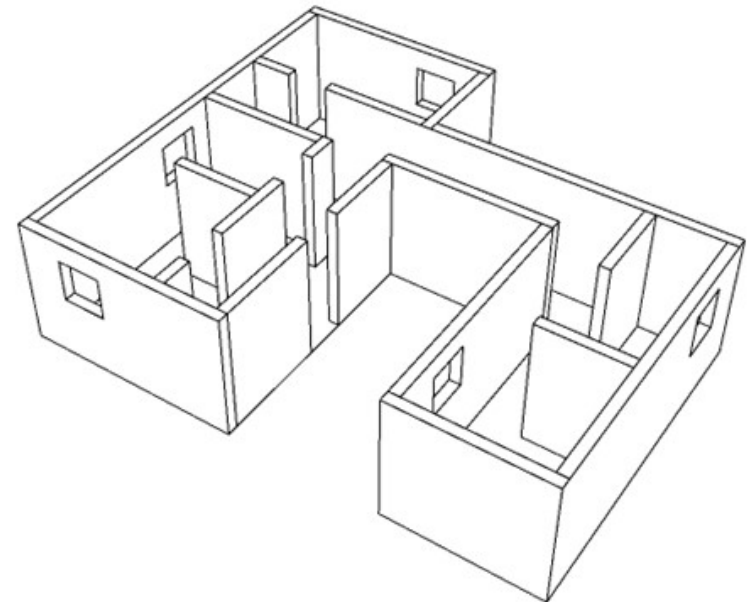
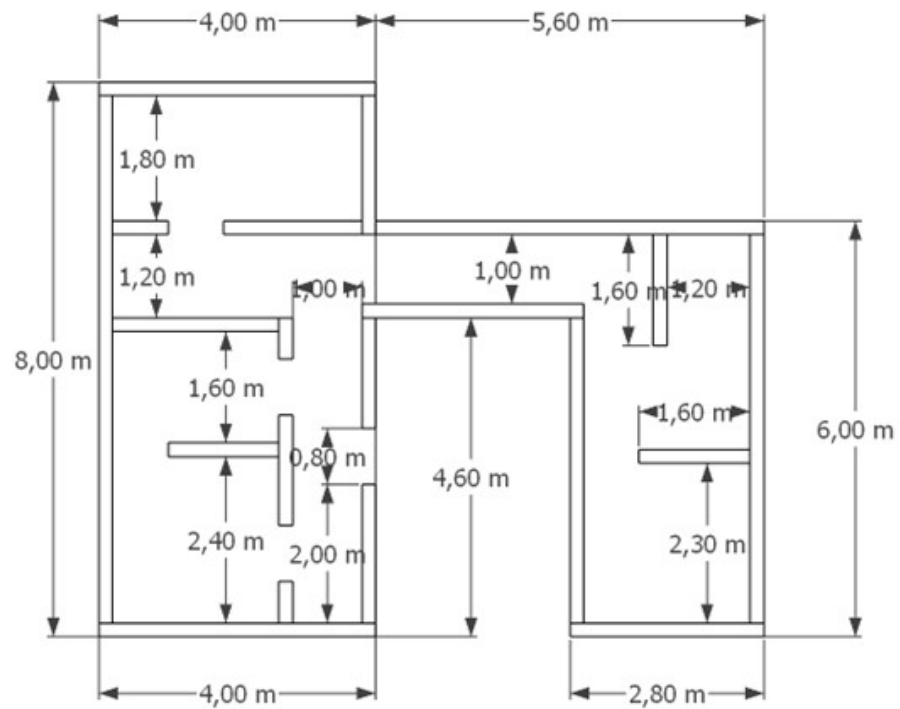


Rafael GARCÍA MEIRO
Director General

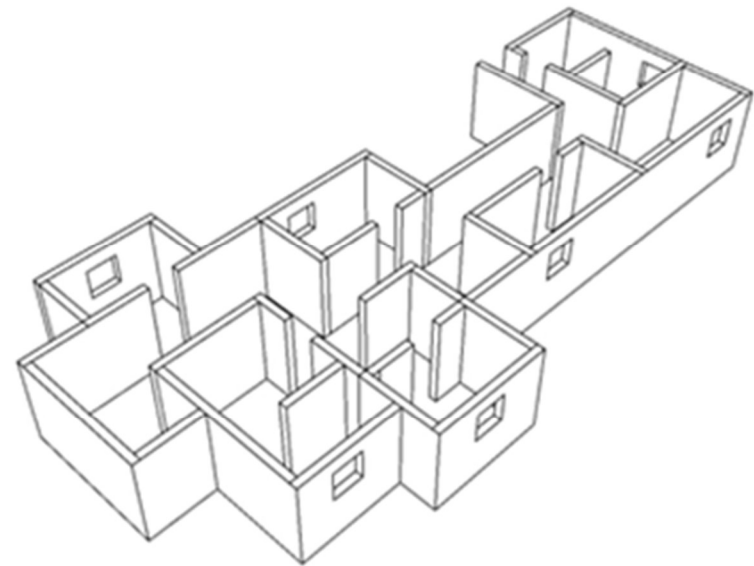
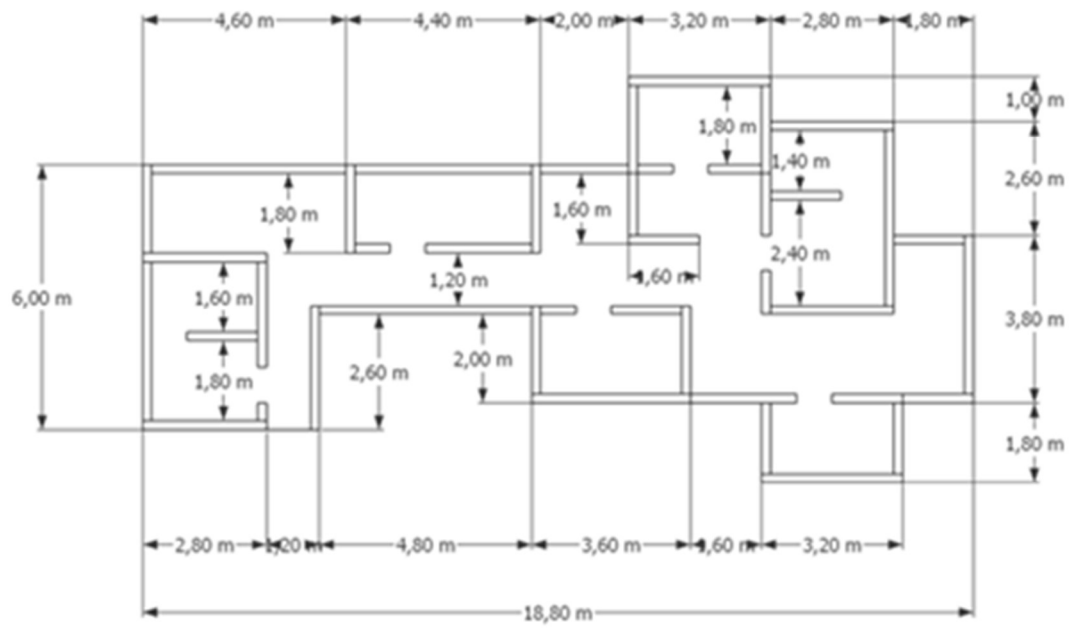
ANEXO 6: PLANOS EDIFICACIONES




	NOMBRE	FORMATO A3	REGIMIENTO DE INGENIEROS Nº 8 ACUARTELAMIENTO CAPITAN ARENAS
	DISEÑADO DIBUJADO APROBADO		DIBUJO DE DESPIECE
	TTE. LLAMAZARES TTE. LLAMAZARES CAP. MILLAN	POLIGONO DE COMBATE EN ZONAS URBANIZADAS MODELO 1	



	NOMBRE	FORMATO A3	REGIMIENTO DE INGENIEROS Nº 8 ACUARTELAMIENTO CAPITAN ARENAS
	DISEÑADO DIBUJADO	TTE. LLAMAZARES TTE. LLAMAZARES	DIBUJO DE DESPIECE
	APROBADO	CAP. MILLAN	
POLIGONO DE COMBATE EN ZONAS URBANIZADAS MODELO 2			



	NOMBRE	FORMATO A3	REGIMIENTO DE INGENIEROS Nº 8 ACUARTELAMIENTO CAPITAN ARENAS
	DISEÑADO	TTE. LAMAZARES	DEPARTAMENTO DE OFICINA TECNICA
	DIBUJADO	TTE. LLAMAZARES	
APROBADO	CAP. MILLAN	DIBUJO DE DESPIECE	
POLIGONO DE COMBATE EN ZONAS URBANIZADAS MODELO 3			

ANEXO 7. DESGLOSE DE COSTES

Modelo 1

CIMENTACIÓN: ZAPATA CORRIDA				
(PRECIOS CON EL IPSI INCLUIDO)				
PROVEEDOR	DESCRIPCIÓN	UD,s	PRECIO (€)	TOTAL (€)
HIERROS MORATA (HIERRO)	HORMIGÓN HA-25	12 m³	107,00	1284,00
	HORMIGÓN DE LIMPIEZA	4 m³	94,00	376,00
	BARRA CORRUGADA de 12m y Ø12mm	50 barras	9,86 €/barra	493
CALMI (ÁRIDOS Y HORMIGONES)	ALAMBRE DE ATAR rollo 25Kg	1 rollo	51,75	51,75
	TABLEROS TRICAPA 2x0,5x0,3cm	70 ud.	36,50	2555
PRONOR CUATRO CAMINOS (RESTO)	MATERIAL FUNGIBLE VARIADO (Hilo Albañilería, Sprays topográficos, Discos corte, tornillería, etc)			250,00
	TOTAL			5009,75
	5% INCIDENCIAS			250,49
	TOTAL			5260,24

MURO BLOQUES DE HORMIGÓN				
(PRECIOS CON EL IPSI INCLUIDO)				
PROVEEDOR	DESCRIPCIÓN	UD,s	PRECIO (€/ud)	TOTAL (€)
HIERROS MORATA (HIERRO)	BLOQUES DE HORMIGÓN (piezas completas) 40x20x20cm	2100 ud.	1,01 €/bloque	2121,00
	BLOQUES DE HORMIGÓN (media pieza) 20x20x20cm	100 ud	1,01 €/bloque	101,00
CALMI (ÁRIDOS Y HORMIGONES)	MORTERO M5	5 m3	96,00 €/m3	480,00
	MATERIAL FUNGIBLE VARIADO (Hilo Albañilería, Sprays topográficos, Discos corte, tornillería, etc)			250,00
PRONOR CUATRO CAMINOS (RESTO)	TOTAL			2952,00
	5% INCIDENCIAS			147,60
	TOTAL			3099,60

Modelo 2

CIMENTACIÓN: ZAPATA CORRIDA				
(PRECIOS CON EL IPSI INCLUIDO)				
PROVEEDOR	DESCRIPCIÓN	UD,s	PRECIO (€)	TOTAL (€)
HIERROS MORATA (HIERRO)	HORMIGÓN HA-25	12 m ³	107,00	1284,00
	HORMIGÓN DE LIMPIEZA	4 m ³	94,00	376,00
	BARRA CORRUGADA de 12m y Ø12mm	40 barras	9,86 €/barra	394,40
CALMI (ÁRIDOS Y HORMIGONES)	ALAMBRE DE ATAR rollo 25Kg	1 rollo	51,75	51,75
	TABLEROS TRICAPA 2x0,5x0,3cm	70 ud.	36,50	2555
PRONOR CUATRO CAMINOS (RESTO)	MATERIAL FUNGIBLE VARIADO (Hilo Albañilería, Sprays topográficos, Discos corte, tornillería, etc)			250,00
	TOTAL			4911,15
	5% INCIDENCIAS			245,56
	TOTAL			5156,71

MURO BLOQUES DE HORMIGÓN				
(PRECIOS CON EL IPSI INCLUIDO)				
PROVEEDOR	DESCRIPCIÓN	UD,s	PRECIO (€/ud)	TOTAL (€)
HIERROS MORATA (HIERRO)	BLOQUES DE HORMIGÓN (piezas completas) 40x20x20cm	2000 ud.	1,01 €/bloque	2020,00
	BLOQUES DE HORMIGÓN (media pieza) 20x20x20cm	100 ud	1,01 €/bloque	101,00
CALMI (ÁRIDOS Y HORMIGONES)	MORTERO M5	5 m ³	96,00 €/m ³	480,00
	MATERIAL FUNGIBLE VARIADO (Hilo Albañilería, Sprays topográficos, Discos corte, tornillería, etc)			250,00
PRONOR CUATRO CAMINOS (RESTO)	TOTAL			2851,00
	5% INCIDENCIAS			142,55
	TOTAL			2993,55

Modelo 3

CIMENTACIÓN: ZAPATA CORRIDA				
(PRECIOS CON EL IPSI INCLUIDO)				
PROVEEDOR	DESCRIPCIÓN	UD,s	PRECIO (€)	TOTAL (€)
HIERROS MORATA (HIERRO)	HORMIGÓN HA-25	20 m³	107,00	2140,00
	HORMIGÓN DE LIMPIEZA	8 m³	94,00	752,00
	BARRA CORRUGADA de 12m y Ø12mm	80 barras	9,86 €/barra	788,80
CALMI (ÁRIDOS Y HORMIGONES)	ALAMBRE DE ATAR rollo 25Kg	1 rollo	51,75	51,75
	TABLEROS TRICAPA 2x0,5x0,3cm	70 ud.	36,50	2555
	MATERIAL FUNGIBLE VARIADO (Hilo Albañilería, Sprays topográficos, Discos corte, tornillería, etc)			250,00
	TOTAL			6536,75
PRONOR CUATRO CAMINOS (RESTO)	5% INCIDENCIAS			326,84
	TOTAL			6863,59

MURO BLOQUES DE HORMIGÓN				
(PRECIOS CON EL IPSI INCLUIDO)				
PROVEEDOR	DESCRIPCIÓN	UD,s	PRECIO (€/ud)	TOTAL (€)
HIERROS MORATA (HIERRO)	BLOQUES DE HORMIGÓN (piezas completas) 40x20x20cm	3200 ud.	1,01 €/bloque	3232,00
	BLOQUES DE HORMIGÓN (media pieza) 20x20x20cm	100 ud	1,01 €/bloque	101,00
CALMI (ÁRIDOS Y HORMIGONES)	MORTERO M5	8 m3	96,00 €/m3	768,00
	MATERIAL FUNGIBLE VARIADO (Hilo Albañilería, Sprays topográficos, Discos corte, tornillería, etc)			250,00
	TOTAL			4351,00
PRONOR CUATRO CAMINOS (RESTO)	5% INCIDENCIAS			217,55
	TOTAL			4568,55

ANEXO 8. RETRIBUCIONES

PERSONAL MILITAR EN SERVICIO ACTIVO Y RESERVA CON DESTINO (RETRIBUCIONES PARA EL AÑO 2021)											
EMPLEOS	SUBG.	SUELDO			COMPLEMENTO EMPLEO			COMP. GENERAL COMPL. ESPECÍFICO		TOTALES	
		MENSUAL	EXTRA	ANUAL	NIVEL CE	MENSUAL	ANUAL (14m)	MENSUAL	ANUAL (14m)	MENSUAL	ANUAL
Gral.Ejército o Alm.Gral. o Gral. Aire	A1	1.214,39	749,38	16.071,44	--	1.664,59	23.304,26	1.429,40	20.011,60	4.308,38	59.387,30
Teniente General o Almirante		1.214,39	749,38	16.071,44	--	1.331,70	18.643,80	1.429,40	20.011,60	3.975,49	54.726,84
General de División o Vicealmirante		1.214,39	749,38	16.071,44	--	1.201,21	16.816,94	1.227,60	17.186,40	3.643,20	50.074,78
General de Brigada o Contraalmirante		1.214,39	749,38	16.071,44	--	1.060,77	14.850,78	1.025,20	14.352,80	3.300,36	45.275,02
Coronel o Capitán de Navío		1.214,39	749,38	16.071,44	29	951,46	13.320,44	879	12.306	3.044,85	41.697,88
Tte. Coronel o Capitán de Fragata		1.214,39	749,38	16.071,44	28	911,48	12.760,72	687	9.618	2.812,87	38.450,16
Comandante o Capitán de Corbeta		1.214,39	749,38	16.071,44	27	871,43	12.200,02	590,20	8.262,80	2.676,02	36.534,26
Capitán o Teniente de Navío		1.214,39	749,38	16.071,44	26	764,54	10.703,56	489,20	6.848,80	2.468,13	33.623,80
Teniente o Alférez de Navío		1.214,39	749,38	16.071,44	24	638,29	8.936,06	362,50	5.075	2.215,18	30.082,50
Alférez o Alférez de Fragata		A2	1.050,06	765,83	14.132,38	24	638,29	8.936,06	333	4.662	2.021,35
Suboficial Mayor	1.050,06		765,83	14.132,38	23	598,33	8.376,62	728,20	10.194,80	2.376,59	32.703,80
Subteniente	1.050,06		765,83	14.132,38	22	558,28	7.815,92	625,40	8.755,60	2.233,74	30.703,90
Brigada	1.050,06		765,83	14.132,38	21	518,33	7.256,62	487,40	6.823,60	2.055,79	28.212,60
Sargento Primero	1.050,06		765,83	14.132,38	20	481,48	6.740,72	376,40	5.269,60	1.907,94	26.142,70
Sargento	1.050,06		765,83	14.132,38	19	456,91	6.396,74	295	4.130	1.801,97	24.659,12
Cabo Mayor	C1		788,42	681,43	10.823,90	18	432,32	6.052,48	352,20	4.930,80	1.572,94
Cabo Primero Permanente		788,42	681,43	10.823,90	17	407,72	5.708,08	273,20	3.824,80	1.469,34	20.356,78
Cabo Permanente		788,42	681,43	10.823,90	15	358,56	5.019,84	216,20	3.026,80	1.363,18	18.870,54
Soldado o Marinero Permanente		788,42	681,43	10.823,90	14	334,02	4.676,28	167	2.338	1.289,44	17.838,18
Cabo Primero Temporal	C2	656,18	650,20	9.174,56	17	407,72	5.708,08	273,20	3.824,80	1.337,10	18.707,44
Cabo Temporal		656,18	650,20	9.174,56	15	358,56	5.019,84	216,20	3.026,80	1.230,94	17.221,20
Soldado o Marinero Temporal		656,18	650,20	9.174,56	14	334,02	4.676,28	167	2.338	1.157,20	16.188,84

ANEXO 9. HORAS DEDICADAS POR TRABAJADOR

MODELO 1

Cuadro de mano de obra

Num. Código	Denominación de la mano de obra	Precio	Horas
1 mo043	Oficial 1ª ferrallista.	18,42	0,788 h
2 mo045	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	18,42	0,948 h
3 mo090	Ayudante ferrallista.	17,25	0,788 h
4 mo092	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	17,25	2,888 h
5 mo113	Peón ordinario construcción.	16,16	5,670 h
6 O01OB010	Oficial 1ª Encofrador	10,81	6,887 h.
7 O01OB030	Oficial 1ª Ferrallista	10,71	0,936 h.
8 O01OA030	Oficial primera	10,71	111,743 h.
9 O01OB025	Oficial 1ª Gruista	10,71	0,090 h.
10 O01OB020	Ayudante- Encofrador	10,40	6,887 h.
11 O01OB040	Ayudante- Ferrallista	10,40	0,936 h.
12 O01OA050	Ayudante	10,40	55,871 h.
13 O01OA070	Peón ordinario	10,24	5,845 h.

MODELO 2

Cuadro de mano de obra

Num. Código	Denominación de la mano de obra	Precio	Horas
1 mo043	Oficial 1ª ferrallista.	18,42	0,788 h
2 mo045	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	18,42	0,948 h
3 mo090	Ayudante ferrallista.	17,25	0,788 h
4 mo092	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	17,25	2,888 h
5 mo113	Peón ordinario construcción.	16,16	5,670 h
6 O01OB010	Oficial 1ª Encofrador	10,81	3,672 h.
7 O01OB030	Oficial 1ª Ferrallista	10,71	0,499 h.
8 O01OA030	Oficial primera	10,71	102,180 h.
9 O01OB025	Oficial 1ª Gruista	10,71	0,047 h.
10 O01OB020	Ayudante- Encofrador	10,40	3,672 h.
11 O01OB040	Ayudante- Ferrallista	10,40	0,499 h.
12 O01OA050	Ayudante	10,40	51,090 h.
13 O01OA070	Peón ordinario	10,24	5,345 h.

MODELO 3

Cuadro de mano de obra

Num. Código	Denominación de la mano de obra	Precio	Horas
1 mo043	Oficial 1ª ferrallista.	18,42	0,788 h
2 mo045	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	18,42	0,948 h
3 mo090	Ayudante ferrallista.	17,25	0,788 h
4 mo092	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	17,25	2,888 h
5 mo113	Peón ordinario construcción.	16,16	9,821 h
6 O01OB010	Oficial 1ª Encofrador	10,81	5,050 h.
7 O01OB030	Oficial 1ª Ferrallista	10,71	0,686 h.
8 O01OA030	Oficial primera	10,71	223,860 h.
9 O01OB025	Oficial 1ª Gruista	10,71	0,066 h.
10 O01OB020	Ayudante- Encofrador	10,40	5,050 h.
11 O01OB040	Ayudante- Ferrallista	10,40	0,686 h.
12 O01OA050	Ayudante	10,40	111,930 h.
13 O01OA070	Peón ordinario	10,24	11,710 h.

ANEXO 10. PRESUPUESTO FA

MODELO 1

8/10/21 10:37

Presupuesto

Ord.	Descripción	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Precio	Importe	
01	CIMENTACION								
01.01	m3 CIMENTACIÓN ZAPATA CORRIDA 45X45								
	Zapata corrida de cimentación, de hormigón armado, realizada en excavación previa, con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central con Distintivo de calidad Oficialmente Reconocido (D.O.R.), y vertido desde camión, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 100 kg/m ³ . Incluso armaduras de espera de los pilares u otros elementos, alambre de atar, y separadores. El precio incluye la elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y el montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra, pero no incluye el encofrado.								
		1	9,60	0,45	0,45	1,94			
		1	9,60	0,45	0,45	1,94			
		1	7,60	0,45	0,45	1,54			
		1	7,60	0,45	0,45	1,54			
						TOTAL PARTIDA 01.01	6,97	270,00	1.880,82
								TOTAL CAPÍTULO 01	1.880,82

8/10/21 10:37

Presupuesto

Ord.	Descripción	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Precio	Importe	
02	ESTRUCTURAS								
02.01	m3 MURO 12CM EXPESOR Y 3 METROS DE ALTO IMPRESO 3D								
	Muro de hormigón impreso en 3D, mediante sistema de fabricación aditiva, compuesto por CEM I -42,5 con árido fino y fibras poliméricas, de consistencia blanda, de 15 cm de espesor incluyendo dinteles a base de barra corrugada del 12, embebida en el propio dintel impreso en 3d, huecos y celosía electrosoldada de 6mm horizontal de figuración por retracción, sin incluir en dicho precio la gestión de residuos generados.								
		1	9,60	0,12	2,20	2,53			
		1	9,60	0,12	2,20	2,53			
		1	9,60	0,12	2,20	2,53			
		1	9,60	0,12	2,20	2,53			
		1	7,60	0,12	2,20	2,01			
		1	7,60	0,12	2,20	2,01			
		1	2,80	0,12	2,20	0,74			
		1	2,80	0,12	2,20	0,74			
		1	2,80	0,12	2,20	0,74			
		1	2,40	0,12	2,20	0,63			
		1	2,40	0,12	2,20	0,63			
		-6	0,82	0,12	2,20	-1,30			
						TOTAL PARTIDA 02.01	16,34	516,84	8.443,26
								TOTAL CAPÍTULO 02	8.443,26

MODELO 2

8/10/21 10:47

Presupuesto

Ord.	Descripción	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Precio	Importe	
01	CIMENTACION								
01.01	m3 CIMENTACIÓN ZAPATA CORRIDA 45X45								
	Zapata corrida de cimentación, de hormigón armado, realizada en excavación previa, con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central con Distintivo de calidad Oficialmente Reconocido (D.O.R.), y vertido desde camión, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 100 kg/m ³ . Incluso armaduras de espera de los pilares u otros elementos, alambre de atar, y separadores. El precio incluye la elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y el montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra, pero no incluye el encofrado.								
		1	4,00	0,45	0,45	0,81			
		1	1,80	0,45	0,45	0,36			
		1	5,60	0,45	0,45	1,13			
		1	6,00	0,45	0,45	1,22			
		1	2,80	0,45	0,45	0,57			
		1	4,00	0,45	0,45	0,81			
		2	4,60	0,45	0,45	1,86			
		1	2,80	0,45	0,45	0,57			
		1	4,00	0,45	0,45	0,81			
		1	8,00	0,45	0,45	1,62			
						TOTAL PARTIDA 01.01	9,76	270,00	2.635,34
						TOTAL CAPÍTULO 01			2.635,34

8/10/21 10:47

Presupuesto

Ord.	Descripción	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Precio	Importe	
02	ESTRUCTURAS								
02.01	MURO 12CM EXPESOR Y 2.2 METROS DE ALTO IMPRESO 3D								
	Muro de hormigón impreso en 3D, mediante sistema de fabricación aditiva, compuesto por CEM I -42,5 con árido fino y fibras poliméricas, de consistencia blanda, de 15 cm de espesor incluyendo dinteles a base de barra corrugada del 12, embebida en el propio dintel impreso en 3d, huecos y celosía electrosoldada de 6mm horizontal de figuración por retracción, sin incluir en dicho precio la gestión de residuos generados.								
		2	4,00	0,12	2,20	2,11			
		1	8,00	0,12	2,20	2,11			
		1	5,60	0,12	2,20	1,48			
		1	6,00	0,12	2,20	1,58			
		2	2,80	0,12	2,20	1,48			
		2	4,60	0,12	2,20	2,43			
		1	4,00	0,12	2,20	1,06			
		1	1,60	0,12	2,20	0,42			
		1	1,60	0,12	2,20	0,42			
		2	3,00	0,12	2,20	1,58			
		1	4,00	0,12	2,20	1,06			
		-5	0,82	0,12	2,20	-1,08			
						TOTAL PARTIDA 02.01	14,65	516,84	7.572,74

MODELO 3

B/10/21 11:02

Presupuesto

Ord.	Descripción	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Precio	Importe	
01	CIMENTACION								
01.01	m3 CIMENTACIÓN ZAPATA CORRIDA 45X45								
	Zapata corrida de cimentación, de hormigón armado, realizada en excavación previa, con hormigón HA-25/B/20/11a fabricado en central con Distintivo de calidad Oficialmente Reconocido (D.O.R.), y vertida desde camión, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 100 kg/m ³ . Incluso armaduras de espera de los pilares u otros elementos, alambre de atar, y separadores. El precio incluye la elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y el montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra, pero no incluye el encofrado.								
		1	3,80	0,45	0,45	0,77			
		1	2,60	0,45	0,45	0,53			
		1	1,00	0,45	0,45	0,20			
		1	1,80	0,45	0,45	0,36			
		1	1,80	0,45	0,45	0,36			
		1	2,80	0,45	0,45	0,57			
		1	3,20	0,45	0,45	0,65			
		1	2,00	0,45	0,45	0,41			
		1	4,40	0,45	0,45	0,89			
		1	4,50	0,45	0,45	0,91			
		1	6,00	0,45	0,45	1,22			
		1	2,80	0,45	0,45	0,57			
		1	2,60	0,45	0,45	0,53			
		1	4,80	0,45	0,45	0,97			
		1	2,00	0,45	0,45	0,41			
		1	3,60	0,45	0,45	0,73			
		1	1,60	0,45	0,45	0,32			
		1	3,20	0,45	0,45	0,65			
						TOTAL PARTIDA 01.01	11,04	270,00	2.979,79
						TOTAL CAPÍTULO 01			2.979,79

Ord.	Descripción	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Precio	Importe	
C2	ESTRUCTURAS								
02.01	m3 MURO 12CM EXPESOR Y 2.2 METROS DE ALTO IMPRESO 3D								
	Muro de hormigón impreso en 3D, mediante sistema de fabricación aditiva, compuesto por CEM I-42,5 con árido fino y fibras poliméricas, de consistencia blanda, de 15 cm de espesor incluyendo dinteles a base de barra corrugada del 12, embebida en el propio dintel impreso en 3d, huecos y celosía electrosoldada de 6mm horizontal de figuración por retracción, sin incluir en dicho precio la gestión de residuos generados.								
		1	3,20	0,12	2,20	0,84			
		1	2,80	0,12	2,20	0,74			
		1	14,20	0,12	2,20	3,75			
		2	3,20	0,12	2,20	1,69			
		1	1,80	0,12	2,20	0,48			
		1	1,00	0,12	2,20	0,26			
		1	2,60	0,12	2,20	0,69			
		1	3,80	0,12	2,20	1,00			
		2	1,80	0,12	2,20	0,95			
		1	3,20	0,12	2,20	0,84			
		1	10,20	0,12	2,20	2,69			
		1	8,40	0,12	2,20	2,22			
		1	2,80	0,12	2,20	0,74			
		3	2,80	0,12	2,20	2,22			
		2	2,00	0,12	2,20	1,06			
		1	2,60	0,12	2,20	0,69			
		3	1,80	0,12	2,20	1,43			
		1	4,40	0,12	2,20	1,16			
		1	1,60	0,12	2,20	0,42			
		-9	0,82	0,12	2,20	-1,95			
						TOTAL PARTIDA 02.01	21,92	516,84	11.327,73
						TOTAL CAPÍTULO C2			11.327,73

ANEXO 11. PRESUPUESTO BEM PRO

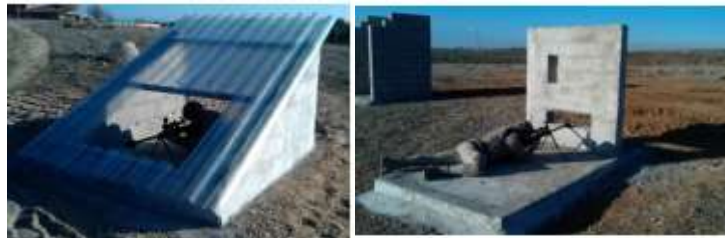
CANTIDAD UNIDADES	DESCRIPCIÓN	PRECIO POR UNIDAD	TOTAL
1	Pack Dispositivo Impresión 3D - Modelo 9500x3500 mm Equipo bombeo con 30 m de manguera, 2 camisas y 1 rotor Tubo test consistencia material Vallado perimetral de seguridad Embalaje para envío FAS Transporte puerto Valencia, España Formación 40 horas, 2 técnicos (no se incluyen viajes)	286.000,00 €	286.000,00 €
0	Sistema de guías simples para 12 metros	4.950,00 €	
1	Sistema de guías nivelables para 12 metros	14.150,00 €	14.150,00 €
1	Certificación Micro Hormigón local Precio por Tn de material "FÓRMULA 3D" sin envío	15.000,00 €	15.000,00 €
0	Extras configurables	110,00 €	
1	Sistema automático de volteo del dispositivo	12.650,00 €	12.650,00 €
0	2 tramos extra de 3 metros, sistema guías simples * Ampliación máxima guías de eje "Y" hasta 21 metros	1.250,00 €	
0	2 tramos extra de 3 metros, sistema guías nivelables * Ampliación máxima guías de eje "Y" hasta 21 metros	3.700,00 €	
0	Sistema A/C cuadro	4.700,00 €	
1	Sistema aspiración bomba	1.400,00 €	1.400,00 €
1	Bonus de mantenimiento anual 60 h al año de asistencia técnica L-V (09:00 A 21:00) * Coste hora extra o fuera del bono	3.000,00 €	3.000,00 €
0	1 Revisión anual de mantenimiento preventivo vía wifi * Se recomienda una revisión cada 1000 h. de trabajo	60,00 €	
0	Coste hora generación de modelos y archivos .gcode * Precio a revisar según proyecto	500,00 €	
0	Curso avanzado de diseño optimizado y parametrización para impresión 3D en construcción (no presencial)	50,00 €	
0	Trabajo 40 horas, 2 técnicos (no se incluyen viajes) * Sujeto a tamaño y necesidades del proyecto	1.500,00 €	
3	Kit de recambios del equipo de bombeo	277,20 €	831,60 €
4	Tramo 10 metros de manguera	3,30 €	13,20 €
6	Junta de acoplamiento manguera Camisa para bombeo	56,93 €	341,59 €
3	Tornillo rotores para bombeo	69,15 €	207,46 €
1	Aspa batidor de mezclado	72,60 €	72,60 €
4	Pelota de limpieza esponja	4,62 €	18,48 €
		COSTE TOTAL	333.684,93 €

ANEXO 12. INSTALACIONES DE APOYO PARA EL USO DE FUEGO REAL

Galería de tiro (abierta o cerrada).



Campo de tiro de precisión (CTP).



Campo de lanzamiento de granadas de mano (CLGM) de guerra

Posición de lanzamiento (PL)



Posición de control (PCC)
al fondo PL



Campo de explosivos (CEXP).



Refugio de superficie

ANEXO 13. INSTALACIONES PARA EL COMBATE EN ZONA URBANA

Torre multiusos.



Instalaciones, núcleos y polígonos de combate en zona urbana (PCZURB).



Vista general del PCZURB CENAD SG

ANEXO 14. INSTALACIONES PARA LA INSTRUCCIÓN CONTRA LA AMENAZA IED

Travesía urbana

