



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Elaboración de un prototipo de impresora 3D para la
construcción de viviendas de barro en el distrito de Chalaco –
Piura, 2022**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Industrial

AUTORAS:

Cordova Cordova, Luz Clarita (orcid.org/0000-0003-1231-5715)

Villegas Villalta, Maria Alexandra (orcid.org/0000-0002-0641-5018)

ASESOR:

Mg. Borrero Carrasco, Gabriel Ernesto (orcid.org/0000-0001-5485-9927)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión Empresarial y Productiva

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

PIURA - PERÚ

2022

Dedicatoria

El presente desarrollo de proyecto va dedicado Dios por habernos dado la vida y permitirnos haber llegado hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional y a nuestros padres quienes siempre confiaron en nosotras, nos brindaron su apoyo incondicional siendo nuestra principal fuente de motivación en este camino y nos alentaron para no rendirnos incluso cuando las cosas se tornaban difíciles.

Dedico este trabajo de investigación a mis hermanas quienes me brindaron su apoyo incondicional y estuvieron conmigo cuando las necesitaba y con sus palabras de aliento no me dejaban decaer para que siguiera adelante.

Dedico este proyecto a mis seres queridos quienes siempre estuvieron conmigo dándome aliento a seguir adelante y me apoyaron cuando más lo necesité.

Finalmente queremos dedicar este proyecto a nosotras mismas, porque juntas nos apoyamos mutuamente y solo nosotras sabemos cuánto nos costó llegar hasta aquí.

Agradecimiento

Queremos agradecer a nuestro asesor de especialidad, el Ingeniero Gustavo Flores Jiménez por brindarnos sus conocimientos, la orientación, apoyo económico y motivación que necesitábamos durante todo el desarrollo de este proyecto de investigación, sin él no lo hubiéramos logrado.

Agradecemos a nuestro asesor metodológico, el Ingeniero Gabriel Borrero Carrasco quien nos orientó en la redacción del proyecto, por su paciencia y ayuda en este camino

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas	v
Indice de figuras.....	vi
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. Introducción.....	1
II. Marco teórico	4
III. Metodología	9
3.1. Tipo y diseño de investigación	9
3.2. Variables y operacionalización	10
3.3. Población, muestra y muestreo.....	10
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	13
3.5. Procedimientos	15
3.6. Método de análisis de datos	16
3.7. Aspectos éticos.....	16
IV. Resultados.....	17
V. Discusión	25
VI. Conclusiones	28
VII. Recomendaciones	29
Referencias.....	30
Anexos	

Índice de tablas

Tabla 01: Población, muestra y muestreo.....	12
Tabla 02: Técnicas e instrumentos.....	14
Tabla 03. Ficha de registro de características de la impresora 3D.....	18
Tabla 04. Ficha de costo de material de la impresora 3d.....	19
Tabla 05. Ficha de información del prototipo.....	22
Tabla 06. Ficha de registro de la construcción.....	23
Tabla 07. Prueba de resistencia (impresión 3D).....	24
Tabla 08. Prueba de resistencia (Construcción tradicional)	24

Índice de figuras

Figura 01. Especificaciones impresoras Sigmax R19	47
Figura 02. Especificaciones impresoras Sigma R19	48
Figura 03. Especificaciones impresoras BOD2	49
Figura 04. Especificaciones impresoras ApisCor	49
Figura 05. Especificaciones impresoras BigDelta	50
Figura 06. Especificaciones impresoras cartesianas	50
Figura 07. Especificaciones impresoras MINGDA	51
Figura 08. Especificaciones impresoras Delta	52
Figura 09. Especificaciones del motor Nema17	52
Figura 10. Parámetros del motor Nema17	54
Figura 11. Especificaciones del motor Nema17 SK4234	54
Figura 12. Planos de estructura superior	55
Figura 13. Planos de soporte de eje z	55
Figura 14. Planos de soporte de varillas	56
Figura 15. Planos soporte de eje x	56
Figura 16. Planos soporte de eje y	57
Figura 17. Corte de plantilla de extrusor	58
Figura 18. Planos de estructura del extrusor	58
Figura 19 y 20. Corte de planos	59
Figura 21. Atornillado de uniones	60
Figura 22. Ensamble de perfiles	60
Figura 23. Ensamble eje X	61
Figura 24. Ensamble de eje Y	61
Figura 25. Instalación eje XY	62
Figura 26. Soldado de conexiones	62
Figura 27. Conexión de motores	63
Figura 28. Instalación de finales de carrera	63
Figura 29. Prototipo de impresora 3D	64
Figura 30. Pruebas en PLA	64
Figura 31 Y 32. Calibración con barro	65
Figura 33. Prueba en Barro	65
Figura 34. Impresión 3D de barro	66

Figura 35 y 36. Mediciones de impresión 3D	66
Figura 37. Adobes	67
Figura 38 y 39. Medición de los adobes	67
Figura 40 y 41. Observación de construcción tradicional	68
Figura 42. Observación colaboradores	69
Figura 43. Construcción tradicional.....	70
Figura 44. Prensa de carga mecánica CBR digital	71
Fuente: Elaboración propia	71
Figura 45. Unidad de prueba	71
Figura 46 y 47. Prueba de resistencia a la compresión	72
Figura 47 y 48. Observación de resistencia a la compresión	72
Figura 49. Análisis de resistencia	73
Figura 50. Resistencia tradicional	73

Resumen

El presente proyecto de investigación se realizó con la finalidad de elaborar un prototipo de impresora 3D para la construcción de viviendas de barro en el distrito de Chalaco – Piura, 2022. La investigación fue de tipo aplicada, diseño experimental, cuasi-experimental teniendo como población el prototipo de impresora 3D, las viviendas tradicionales, unidades de prueba, los colaboradores y los materiales de construcción de viviendas tradicionales del distrito de chalaco y la muestra está constituida por un prototipo de la impresora 3D, 3 unidades de prueba, tres viviendas del distrito de chalaco, 12 colaboradores, los materiales de construcción de una vivienda tradicional del distrito de chalaco. Así mismo se obtuvo como resultado la lista de las características y planos del prototipo de impresora, una comparación entre ratios de construcción y resistencia de material, llegando a la conclusión de que la construcción de viviendas mediante impresión 3D representa un gran potencial para el futuro, como lo demuestran las numerosas aplicaciones, pruebas de concepto y avances en investigación en los últimos años. Para determinar si la impresión 3D, o cualquier otro método de construcción, es viable y preferible en zonas alejadas, se deben considerar las compensaciones entre varios factores, como los materiales y el diseño estructural.

Palabras clave: impresión 3D, construcción, diseño

Abstract

The present research project was carried out with the purpose of developing a 3D printer prototype for the construction of mud houses in the district of Chalaco - Piura, 2022. The research was of applied type, experimental design, quasi-experimental having as population the 3D printer prototype, traditional houses, test units, collaborators and construction materials of traditional houses of the district of Chalaco and the sample is constituted by a prototype of the 3D printer, 3 test units, three houses of the district of Chalaco, 12 collaborators, construction materials of a traditional house of the district of Chalaco. Also obtained as a result the list of features and plans of the prototype printer, a comparison between construction ratios and material strength, concluding that the construction of housing by 3D printing represents a great potential for the future, as evidenced by the numerous applications, proofs of concept and research advances in recent years. To determine whether 3D printing, or any other construction method, is viable and preferable in remote areas, trade-offs between various factors, such as materials and structural design, must be considered.

Keywords: 3D printing, construction, design

I. INTRODUCCIÓN

A diferencia de otras industrias que también surgieron en el transcurso de la revolución industrial, la del rubro de construcción es una en las que existe un menor desarrollo en cuanto a las técnicas empleadas en el proceso y la automatización (Andreu, 2019).

Actualmente en el Perú se puede observar que existen diversos proyectos de construcción que, debido a retrasos en la ejecución por falta de recursos económicos entre otros factores se encuentran paralizados (Malpartida, 2018)

Según Melendez (2021) la industria de la construcción presenta numerosas deficiencias en diferentes aspectos, siendo la principal la poca inversión dedicada a la investigación y desarrollo de tecnología que facilite este proceso.

En la actualidad la construcción de viviendas aún necesita costes de mano de obra calificada que resultan muy elevados, sobre todo en las zonas rurales como el distrito de Chalaco-Piura donde esta es escasa, la construcción de una vivienda de barro puede llevar aproximadamente 5 meses y muchas veces la calidad no es la que se espera.

Estos problemas se dan debido a que se cuenta con poca disponibilidad de maquinaria empleada en operaciones de movimiento de tierras, las construcciones no son supervisadas por profesionales y la mano de obra que se utiliza solo tiene experiencia empírica o no tiene ningún conocimiento en este rubro, además las técnicas empleadas no son adecuadas ni seguras puesto que no se aplican las medidas de seguridad correspondientes ni se hace uso de equipo de protección personal.

La situación actual puede traer como consecuencia que las personas, en su mayoría de los sectores rurales como el distrito de Chalaco - Piura, no tengan acceso a una vivienda con las condiciones adecuadas para ser habitada. Por ello, es necesario el desarrollo de tecnología que facilite el proceso de construcción de viviendas para minimizar sus costos de fabricación obteniendo un precio accesible y una mejor calidad, una opción para conseguir esto es la creación de una maquinaria que sea capaz de “imprimir” las viviendas mediante modelos en 3D.

Así mismo, la presente investigación plantea la formulación del problema de la siguiente manera: ¿Cómo elaborar un prototipo de impresora 3D para la construcción de viviendas de barro en el distrito de Chalaco – Piura, 2022? y como preguntas específicas: ¿Cuáles son las características que debe tener un prototipo de impresora 3D para la construcción de viviendas de barro en el distrito de Chalaco – Piura, 2022?, ¿Cuál sería el prototipo más adecuado para la elaboración de una impresora 3D para la construcción de viviendas de barro en el distrito de Chalaco – Piura, 2022?, ¿Cómo construir un equipo a escala de una impresora 3D para la construcción de viviendas de barro en el distrito de Chalaco – Piura, 2022?, ¿Es posible reemplazar la construcción tradicional por la construcción con impresión 3d para la construcción de viviendas de barro en el distrito de Chalaco – Piura, 2022?

Esta investigación tiene como justificación teórica realizar un aporte al conocimiento que existe sobre la elaboración de un prototipo de impresora 3D para la construcción de viviendas de barro en el distrito de Chalaco, los resultados obtenidos podrán generar una alternativa en la industria de la construcción. Por otra parte, se realiza con justificación práctica dado que existe la necesidad de evaluar recursos y mejorar el proceso de construcción para minimizar sus costos de fabricación.

Se tiene como justificación metodológica que el aporte generado será de ayuda para otras investigaciones y podrá ser aplicada en otras industrias o sectores para optimizar recursos a través de maquinaria y procesos automatizados. Por último, como justificación social, será posible ofrecer una alternativa que brindará a una vivienda de precio accesible para los pobladores del distrito de Chalaco – Piura, además de minimizar el tiempo del proceso y el impacto ambiental.

La presente investigación tiene como objetivo general elaborar un prototipo de impresora 3D para la construcción de viviendas de barro en el distrito de Chalaco – Piura, 2022 y como objetivos específicos determinar las características para la elaboración de un prototipo de impresora 3D para la construcción de viviendas de barro en el distrito de Chalaco – Piura, 2022; idear el plano del prototipo de impresora 3D para la construcción de viviendas de barro en el distrito de Chalaco – Piura, 2022; comparar la resistencia de material del método tradicional y método con impresión 3D para la construcción de viviendas de barro en el distrito de

Chalaco – Piura, 2022; comparar ratios de construcción entre el método tradicional y el método con impresión 3D para la construcción de viviendas de barro en el distrito de Chalaco – Piura, 2022.

El presente trabajo tiene como hipótesis que es posible elaborar un prototipo de impresora 3D mediante la metodología “Design thinking con el diseño en AutoCAD, y haciendo uso de programas como ARDUINO, Marlin, pronterface, para la construcción de viviendas de barro en el distrito de Chalaco – Piura, 2022.

II. MARCO TEÓRICO

Martín (2017), Proyecciones de la construcción impresa en 3D en Chile (2020) y Roselló (2021) investigaron deficiencias en la construcción actual y estudiaron conceptos, aplicaciones e implicancias acerca de la construcción a través de la impresión 3D en la actualidad. Seguidamente se presentan los aspectos comunes: La metodología utilizada fue una revisión de literatura (con ayuda de unas fichas para organizar la información en el caso del primer autor), apoyándose de ejemplos de implementación para analizar las aplicaciones de la impresión 3D e imágenes referentes a proyectos anteriores que han hecho uso de esta tecnología, los resultados de las investigaciones fueron que la construcción tradicional requería de altos costos en mano de obra, demanda mucho tiempo y muchas veces la calidad no es la esperada, sin embargo, este tipo de tecnología, se puede desarrollar y aplicar en la construcción de viviendas, sobre todo en lugares remotos o las zonas que se ven perjudicadas por catástrofes o donde existe un alto nivel de pobreza, puesto que su implementación representa una disminución de costos de construcción en comparación con el procedimiento de construcción tradicional, las investigaciones concluyeron en que la impresión 3D es un tema que aún está en sus inicios o en su fase experimental sin embargo puede tener numerosas aplicaciones, muestra un gran potencial por aprovechar y oportunidades para mejorar la industria y proyectos de construcción.

Amado (2019) y 3d Printing Trends in Building and Construction Industry (2020) estudiaron el mecanismo de impresión de la máquina 3D y realizaron una propuesta de diseño aceptable para la impresora, con las dimensiones necesarias para construir una vivienda, la metodología empleada fue una comparativa entre las especificaciones técnicas impuestas y las características de las opciones de diseño propuestas, sus resultados fueron que en la fase de diseño es necesario evaluar diferentes alternativas y retirar las opciones que no logren cumplir con las especificaciones técnicas, además se debe realizar un estudio de cada elemento que sea parte de la impresora para tomar la mejor opción. Después será importante realizar pruebas considerando los parámetros propuestos, considerar factores como la capacidad de extrusión, el cual, de acuerdo con el segundo autor, representa un parámetro esencial que asegura la impresión correcta de la boquilla.

Finalmente, ambos llegaron a la conclusión de que es posible realizar un diseño capaz de cumplir con las especificaciones que se requieren tomando en cuenta las dimensiones de la impresora, las especificaciones de impresión, y el tiempo de instalación, además concluyen en que a pesar de que es una tecnología que aún se encuentra en sus inicios, tiene mucho potencial para desarrollarse e ingresar al mercado en el futuro.

Pilay (2019), A systematic review and analysis of the viability of 3D-printed construction in remote environments (2021) evaluaron la factibilidad de la construcción impresa en 3D utilizando como metodología, en caso del primer autor, una encuesta realizada en el mercado al cual se desea llegar teniendo como población a los habitantes de la zona que se quiere estudiar aplicando un muestreo probabilístico y en el segundo caso, se aplicó una revisión sistemática de diferentes artículos relacionados con la ingeniería, viabilidad y construcción 3d, utilizando como población 4491 artículos y una muestra de 297 documentos seleccionados mediante criterios de exclusión, obteniendo como resultado que tras aplicar diversos criterios de viabilidad, la construcción mediante la impresión 3D es una opción viable bajo ciertas condiciones e incluso puede ser competitiva con las construcciones tradicionales en casos específicos además demostraron que el proyecto es viable y podrá generar ingresos a futuro. Finalmente, ambos autores concluyeron que la propuesta de construcción mediante la impresión 3d es capaz de minimizar los costos y tiempo de construcción de manera significativa y se puede considerar viable en zonas rurales puesto que muestra eficiencia y factibilidad en aspectos como materiales, diseño estructural, pro-eficiencia del proceso, logística, mano de obra, impacto ambiental y costo, en otras palabras, esta nueva tecnología puede optimizar las siete áreas de viabilidad.

3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction? (2016) Comprobó si es posible reemplazar la construcción tradicional con la tecnología de impresión 3D, tuvo como metodología la revisión de artículos acerca de aplicaciones de esta tecnología en la construcción, ejemplos relevantes, materiales necesarios, y viabilidad de proyectos en comparación con las técnicas de construcción tradicionales. La investigación obtuvo como resultados que la impresión 3d tiene más ventajas comparada con la construcción tradicional puesto

que es viable y puede minimizar los costos de construcción, además es posible utilizar nuevos diseños de viviendas que antes no podían aplicarse por las limitaciones de las técnicas tradicionales y se puede utilizar materiales que son amigables con el ambiente. Y, por último, concluyó en que sería útil reemplazar la construcción tradicional por la mejora en los costos, reducción de impacto ambiental y reducir el tiempo de proceso notablemente ayudando en proyectos de construcción de viviendas en lugares alejados.

Kidwell (2017) investigó acerca de los usos actuales de impresión 3d en la construcción y describió las limitaciones existentes de la tecnología, la metodología empleada de la investigación cualitativa y cuantitativa, fue un análisis de proyectos y una entrevista con el gerente de un proyecto sobre la construcción mediante impresión 3d, tuvo como resultados que las principales limitaciones que tiene esta nueva tecnología son el gran tamaño de las impresoras, el material puesto que aún falta desarrollar la impresión con otros tipos de materiales además de plástico y hormigón, a pesar de que se pueden minimizar costos, es necesario una gran inversión inicial y es necesario que esta nueva tecnología cumpla con los códigos y reglamentos de construcción. Por último, obtuvo como conclusión que existen diversas ventajas y limitaciones en la impresión 3D dentro de la industria de la construcción, existen prácticas en las cuales la tecnología tiene una mejor aplicación, como la construcción usando plástico y hormigón y además construcciones que no superen los dos pisos de altura, además el diseño es un factor crucial para evitar demasiados tiempos de rotación.

Mahecha (2021) realizó una comparación entre la implementación de las nuevas tecnologías de impresión 3D en el sector de la construcción en Colombia y los métodos de construcción actuales, aplicando la metodología "Design Thinking". La metodología empleada fue una revisión bibliográfica y un análisis de las aplicaciones de la metodología "Design Thinking". Los resultados obtenidos fueron que la nueva tecnología de impresión tiene costos de construcción menores, tiempo de ejecución mucho más corto y mejora el impacto ambiental por el material utilizado. Su conclusión fue que la metodología "Design Thinking" es de utilidad para la elaboración de estos proyectos, y se puede optimizar la industria de la construcción a través de la impresión por ser una opción viable.

El concepto diseño: Reflexiones teóricas (2012) menciona que el diseño se sitúa en un proceso de cambios que varían constantemente adecuándose a las necesidades o requerimientos de las, el diseño tiene la función de solucionar problemas que están relacionados a los productos y las organizaciones de una manera original y con precisión.

ICFES (2016) define el diseño en ingeniería como un proceso que incluye flexibilidad y creatividad de forma sistemática en cual está respaldado por las matemáticas y ciencias de la ingeniería en el cual se coloca a prueba un conjunto de especificaciones indicadas para la fabricación de artefactos, procesos, estructuras o sistemas con el fin de que estos cumplan los objetivos planteados y puedan satisfacer una serie de requerimientos para cubrir una problemática.

Berchon y Luyt (2016) definen una impresora 3D como un dispositivo que puede lograr la reproducción de un objeto sólido tridimensional por medio de la adición de material, a partir de un diseño elaborado por computadora.

La pieza a imprimir es creada en un paso con una técnica de capa por capa, este objeto puede poseer mecanismos en su interior, así como formas tejidas, entrelazadas o curvas. Existen diferentes procesos de impresión 3d, sin embargo, todos ellos tienen en común la reproducción por capas sucesivas la cual es nombrada como técnica de fabricación aditiva, es decir, añadir materia al objeto el cual va teniendo forma a medida que se solidifican las capas colocadas.

TECLA House, la primera vivienda de arcilla impresa en 3D (2021) describe que la arcilla es uno de los materiales utilizados para la construcción desde tiempos remotos y que hoy en día vuelve a ser valorado porque utiliza tierra de la zona mezclada con paja u otras fibras vegetales, todos estos elementos existentes en gran cantidad y porque el material empleado actúa como barrera térmica ofreciendo comodidad en la vivienda ya que en época de verano brindan frescura y en épocas de invierno son cálidas además de representar viabilidad económica.

Según Rodrigues (2007) la construcción con barro apareció como una posibilidad clara y precisa de acuerdo con los puntos sustentables ya que cuenta con una lista de ventajas culturales y sociales, así como técnicas y económicas que no han sido debidamente valoradas. Es posible hallar la materia prima fácilmente y en gran

cantidad, es muy fácil de manipular, no genera basura ni contaminaciones en ninguna de las fases de su preparación, manipulación, construcción y uso posterior. Además de lo mencionado, se puede resaltar que brinda confort térmico a diferencia de los materiales convencionales, con estas técnicas se conserva una temperatura interna entre los 20 y 25°C todo el año, sin importar las temperaturas externas. El uso de barro para la construcción fortalece y capacita la probabilidad de contribuir a la formación de viviendas sustentables teniendo en cuenta las tres dimensiones básicas: económica, social y ambiental.

Serrano y Blázquez (2016) el Design Thinking es una metodología la cual representa una forma de solucionar problemas a través de la disminución de riesgos y el aumento de la posibilidad de éxito. El primer paso es enfocarse en las necesidades que surgen y desde ese punto seguir con la observación con el fin de idear y diseñar las posibles soluciones para seleccionar la mejor para posteriormente crear prototipos y realizar pruebas correspondientes con el fin de encontrar una solución esperada, viable y rentable económicamente.

El Pensamiento de Diseño se considera como una herramienta capaz de transformar las empresas, puesto que las ayuda a pensar de un modo distinto y a enfrentarse a problemas desde una perspectiva diferente. Además, facilita a las organizaciones el desarrollo de la innovación y la posibilidad de incrementar la eficiencia de sus procesos.

Martín (2017) señala que AutoCAD es un software CAD (Computer Aided Design). Es decir, un software de diseño asistido por ordenador que fue creado en 1982, y conforma uno de los productos de la compañía norteamericana Autodesk. Esta herramienta posee una gran capacidad de edición, esto facilita la elaboración de dibujos en 2D y modelos en 3D. Por esta razón, el software resulta útil actualmente para estudios relacionados con el diseño, arquitectura e ingeniería.

Pronterface es una aplicación con la que puedes monitorizar y enviar comandos a tu impresora. También es posible utilizarla para iniciar impresiones a través de USB, sin embargo, el rendimiento puede variar. Pronterface es parte del paquete de instalación, junto con PrusaSlicer y los controladores del sistema.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación según su finalidad es aplicada, puesto que según Tamayo y Tamayo (2006) quién denomina también este tipo de investigación como activa o dinámica, describe que se encuentra relacionada con la investigación básica debido a que depende de conocimientos o aportes teóricos para estudiar o solucionar problemas concretos.

Según su enfoque o naturaleza, se trata de una investigación cuantitativa, puesto que, de acuerdo con Hernández, Fernández, y Baptista (2014) se basa en un esquema deductivo y lógico, es decir que empieza a partir de una idea que va fijándose y una vez acotada se plantean los objetivos, las preguntas de investigación e hipótesis para después ser probadas, además se realiza una revisión literaria y se establece el marco teórico.

El diseño de la investigación fue experimental, cuasi-experimental.

Según Hernández, Fernández, y Baptista (2014) el término experimental significa una evaluación en la cual se manejan de manera intencional una o más variables independientes con el fin de estudiar las consecuencias producto de la manipulación que se realiza sobre dichas variables. Este tipo de diseño se usa cuando el investigador tiene la intención de determinar el posible efecto de una causa manipulada.

Para Hernández, Fernández, y Baptista (2014) el diseño cuasi-experimental consiste en una aplicación a situaciones reales en las cuales no es posible integrar grupos de manera aleatoria, es decir que los sujetos no se asignan al azar a los grupos ni se emparejan, sin embargo, es posible manejar la variable experimental.

Diagrama: GE O₁ X O₂	Significado de los símbolos: X= Experimento (Elaboración de un prototipo la impresora 3D) GE= Grupo experimental (construcción de viviendas) <i>O₁ = construcción tradicional</i>
--	--

O = Costos de construcción con impresión 3D

Fuente: Hernández, Fernández y Baptista, 2006

3.2. Variables y operacionalización

Las variables tienen más importancia en la investigación que el experimento mismo y además deben estar relacionadas con el teórico marco que sustenta la investigación. Operationalizing Variables in Theoretical Frameworks: A Comparative Analysis (2015).

Según Las variables y su operacionalización en la investigación educativa. Segunda parte. (2019) la operacionalización de las variables incluye la desintegración de los elementos que forman parte de la estructura de la hipótesis y de una forma especial a las variables e indica que la operacionalización se alcanza cuando se dividen las variables en dimensiones y estas a su vez en indicadores que permitan la observación directa y la medición, también se menciona que es esencial porque mediante ellas se determinan aspectos y elementos que se desean cuantificar, conocer y registrar con el objetivo de sacar una conclusión.

La investigación presenta como variable independiente la elaboración de un prototipo de impresora 3D y variable dependiente la construcción de viviendas de barro. Las cuales se encuentra detallada en el anexo 01.

3.3. Población, muestra y muestreo

Se define población como un conjunto de casos definidos limitados, accesibles como referencia para la selección de la muestra, cuando hablamos de población no solo hacemos referencia a seres humanos sino también puede corresponder a animales, muestras biológicas, expedientes, hospitales, objetos, organizaciones, etc. El protocolo de investigación III: La población de estudio, (2016), la investigación presenta una población de prototipo de impresora 3D, las viviendas tradicionales del distrito de Chalaco, unidades de prueba, los colaboradores en la construcción del distrito de Chalaco, los materiales de construcción de viviendas tradicionales del distrito de chalaco.

La muestra es un subconjunto o parte de la población en la que se está realizando una investigación, hay muchas formas para obtener un conjunto de componentes de muestra como fórmulas, lógica, entre otros. En otras palabras,

la muestra es una parte representativa de la población. (Población, muestra y muestreo., 2004). Para llevar a cabo el desarrollo de la investigación, la muestra determinada está constituida por un prototipo de la impresora 3D, 3 unidades de prueba, tres viviendas del distrito de chalaco, 12 colaboradores en la construcción del distrito de Chalaco, los materiales de construcción de una vivienda tradicional del distrito de chalaco.

Se conceptualiza el muestreo como una herramienta utilizada para la investigación científica cuyo objetivo principal es especificar la parte de la población que debe examinarse para hacer inferencias sobre dicha población (Introducción a los tipos de muestreo, 2019). En este caso el muestreo únicamente fue necesario para algunos indicadores y se empleará el muestreo por conveniencia el cual permite elegir casos accesibles que consienten en ser incluidos. Esto basado en la conveniencia de la accesibilidad y proximidad de los sujetos para la persona que realiza la investigación (Técnicas de muestreo sobre una población a estudio, 2017). En la tabla 1 se puede mostrar detalladamente para cada indicador, la población, muestra y muestreo en el caso de ser necesario.

Tabla 01: Población, muestra y muestreo

Indicador	Unidad de análisis	Población	Muestra	Muestreo
Tipo de impresora	Prototipo de impresora 3D	1	1	-
Dimensiones				
Área de impresión (mm ²)				
Diámetro de boquilla (mm)				
Avance por revolución (vueltas/mm)				
Caudal (mm ³ /s)				
Densidad de la mezcla (g/m ³)				
Potencia del extrusor (Watts)				
Potencia de alimentación (Watts)				
Consumo eléctrico				
Software y formatos compatibles				
Especificaciones del motor				
Costo de elaboración (S/.)				
Resolución de impresión (calidad)				
Velocidad de impresión (mm/s)				
Volumen transportado (mm ³ /s)				
Resistencia a la compresión	Unidades de prueba	Todas las unidades de prueba	3	Por conveniencia
Costo de mano de obra (S/)			3	Por conveniencia
Costo de materiales (S/)				
Metros lineales por hora	Vivienda tradicional	Viviendas tradicionales del distrito de chalaco	3	Por conveniencia
Metros verticales por hora				
Volumen m ³ /h				

Resistencia a la compresión	Unidades de prueba	Todas las unidades de prueba	3	Por conveniencia
Costo de mano de obra /m2	Colaboradores en la construcción	Colaboradores en la construcción del distrito de Chalaco	12	Por conveniencia
Costo de materiales / m2	Materiales de construcción	Materiales de construcción de viviendas tradicionales del distrito de chalaco	Materiales de construcción de una vivienda tradicional del distrito de chalaco	Por conveniencia

Fuente: Elaboración propia

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas e instrumentos de recolección de datos (2020) indica que el instrumento de recolección de datos está direccionado a crear las condiciones para la medición, además los datos se definen como una representación de una abstracción del mundo real, de lo sensorial que tiende a ser percibido directa o indirectamente por los sentidos en lo cual todo lo empírico puede ser medido.

Por lo tanto, se define como técnicas de recolección de datos a los procedimientos y actividades que permiten a la persona que realiza la investigación conseguir la información requerida para brindar una respuesta a la pregunta de investigación. En el desarrollo de la investigación se deberán aplicar técnicas de recolección como observación, revisión documental, la cual es una forma de recopilar datos a través de una revisión de documentos existentes (Data Collection Methods for Evaluation: Document Review, 2018).

La validación de los instrumentos es uno de los métodos fundamentales para asegurar la confiabilidad y validez en lo que respecta a la medición de variables (Validación de un instrumento para medir la vulnerabilidad en relación con la capacidad de respuesta de la comunidad ante desastres, 2019).

Los instrumentos que se van a utilizar en este estudio son las fichas de registro. La validez de estos instrumentos quedará determinada por criterio de tres ingenieros expertos en la especialidad quienes expresarán la conformidad de estos; estas validaciones se pueden ver en el anexo 03

En la tabla 02 se puede visualizar detalladamente la técnica e instrumento de recolección usados para cada indicador de la investigación.

Tabla 02: Técnicas e instrumentos

Indicador	Técnica	Instrumento
Tipo de impresora	Observación y análisis documental	Ficha de registro de características de la impresora 3D (Anexo 02-a)
Dimensiones		
Área de impresión (mm ²)		
Diámetro de boquilla (mm)		
Avance por revolución (vueltas/mm)		
Caudal (mm ³ /s)		
Densidad de la mezcla (g/m ³)		
Potencia del extrusor (Watts)		
Potencia de alimentación (Watts)		
Consumo eléctrico		
Software y formatos compatibles		
Especificaciones del motor		
Costo de elaboración (S/.)	Observación y análisis documental	Ficha de costo de material (Anexo 02-b)
Resolución de impresión (calidad)	Observación y análisis documental	Ficha de registro de funciones de prototipo (Anexo 02-c)
Velocidad de impresión (mm/s)		
Volumen transportado (mm ³ /s)		
Resistencia a la compresión	Observación y análisis documental	Ficha de registro de prueba de compresión (Anexo 02-d)
Costo de mano de obra (S/)	Observación y análisis documental	Ficha de registro de funciones de prototipo (Anexo 02-c)
Costo de materiales (S/)		
Metros lineales por hora	Observación y análisis documental	Ficha de registro de construcción (Anexo 02-e)
Metros verticales por hora		
Volumen m ³ /h		
Resistencia a la compresión	Observación y análisis documental	Ficha de registro de prueba de compresión (Anexo 02-f)
Costo de mano de obra /m ²	Observación y análisis documental	Ficha de registro de construcción (Anexo 02-e)
Costo de materiales / m ²		

Fuente: Elaboración propia

3.5. Procedimientos

Ariza (2017) indica que los procedimientos son un conjunto de pasos definidos de forma precisa permitiendo trabajar de manera adecuada reduciendo la probabilidad de error, accidente u omisión. En otras palabras, se define como la manera de llevar a cabo ciertas operaciones que suelen realizarse del mismo modo.

El desarrollo del trabajo de investigación presentado deberá llevarse a cabo en el distrito de Chalaco – Piura, el cual tendrá fácil acceso los pobladores.

Se realizará una evaluación de la construcción tradicional y los costos de elaboración de viviendas en el distrito tomando en cuenta las fichas de registro de los costos de materiales, considerando, además, la guía de entrevista en el que se detallará el costo de mano de obra. Para analizar los costos se va a elaborar un prototipo de impresora 3D identificando sus características y las especificaciones para la elaboración del prototipo y unidades de prueba, además se deberá tomar en cuenta las fichas de registro del costo de elaboración del mismo.

Así mismo se aplicará la metodología design thinking para la elaboración de la impresora 3D la cual, según DIB (2018) consiste en cinco etapas claves: empatizar (entender problemas, necesidades de quienes se pretende satisfacer), definir (analizar la información determinar el valor que aporta al objetivo), idear (plantear una lista de posibles soluciones), prototipar (elaborar un prototipo y observar los cambios o mejoras para llegar a un resultado final) y testear (poner a prueba el prototipo para evaluar e identificar fallas).

Es importante que los indicadores planteados sean medidos en una sola etapa que será en el mes de setiembre de 2022.

3.6. Método de análisis de datos

Según Cross y Plunkett (2014) el análisis de datos es, en pocas palabras, un método de organizar y ubicar cifras y hechos con el propósito de solucionar el problema de investigación. Es de gran importancia para encontrar las respuestas a la pregunta de investigación planteada. Otro aspecto importante de la investigación es la interpretación de los datos obtenidos, la cual se realiza a partir del análisis de los datos y se hacen inferencias para posteriormente sacar conclusiones.

En el trabajo de investigación presente se hará uso del método de tratamiento descriptivo simple para visualizar y analizar las ratios de la construcción tradicional y la impresión 3D. Se realizarán gráficas para una mejor representación de los indicadores. Con el propósito de llevar a cabo el análisis con mayor eficiencia se hará uso de la herramienta Microsoft Excel para los gráficos estadísticos.

3.7. Aspectos éticos

Los autores expresan a modo de declaración que, en cuanto al desarrollo del trabajo de investigación presente, se cumplirá con los principios morales y ética profesional basándose en el código de ética en investigación de la Universidad Cesar Vallejo aprobado en la resolución de consejo universitario N° 02622020/UCV. Además, se realizará de acuerdo a la normativa legal N° 29733 (Ley de protección de los datos personales). Se tendrá el respeto a los derechos de autor que corresponde haciendo uso de citas dentro del documento con la finalidad de reconocer su autoría. Finalmente, los autores aseguran que la investigación que se llevará a cabo es original y no proviene de una copia ni de una autocopia

IV. RESULTADOS

1.1. Determinar las características para la elaboración de un prototipo de impresora 3D para la construcción de viviendas de barro

Fue necesario evaluar las características de diversos tipos de impresoras 3D tal y como se muestra en el anexo 04 y seleccionar los puntos más importantes a tener en cuenta en el diseño del prototipo los cuales fueron: Tipo de impresora, diámetro de boquilla, caudal, densidad de la mezcla, potencia del extrusor, potencia de alimentación, especificaciones del motor, entre otros.

Para el tipo de impresora se tuvo como opción el sistema cartesiano debido a que se trabaja con los tres ejes (X, Y, Z) siendo el tipo más común de impresora 3D debido a su fácil manejo y calibración.

Para el diámetro de la boquilla se tuvo como referencia el doble del diámetro estándar de la boquilla de una impresora 3D de arcilla siendo la más cercana al material que se está utilizando considerando que se debe agregar un aglutinante a la mezcla.

Se determinó que el motor más utilizado para este tipo de tecnología es el motor paso a paso nema 17.

En cuanto a la fuente de alimentación, las que son más utilizadas son las de 12v y 14v

Es así como se obtuvieron los siguientes resultados.

Caudal

$$\frac{V}{t} = \frac{\pi r^2 \times 1}{s} = 3.1416 \text{ mm}^3/s$$

Potencia del extrusor

$$P = V \cdot A = 12v \times 1.7 A = 20.4 \text{ w}$$

Densidad de la mezcla

$$1200 \text{ kg/m}^3 = 0.0012 \text{ g/mm}^3$$

Tabla 03. Ficha de registro de características de la impresora 3D

IMPRESORA 3D	
Tipo de impresora	Cartesiana
Dimensiones (mm)	805 x 610 x 700
Área de impresión	400x450x500
Diámetro de boquilla (mm)	4
Avance por revolución (vueltas/mm)	4
Caudal (mm ³ /s)	3.1416
Densidad de la mezcla (g/mm ³)	0.0012
Potencia del extrusor	20.4
Potencia de alimentación	12 v
Software compatible	Repetier, Pronterface
Formatos compatibles	STL
Consumo eléctrico	
Especificaciones del motor	
Actual/ fase (A)	1.7
Celebración de par (Nm)	0.28
Angulo de paso (Grados)	1.8
Fase	2

Fuente: Anexo 04.

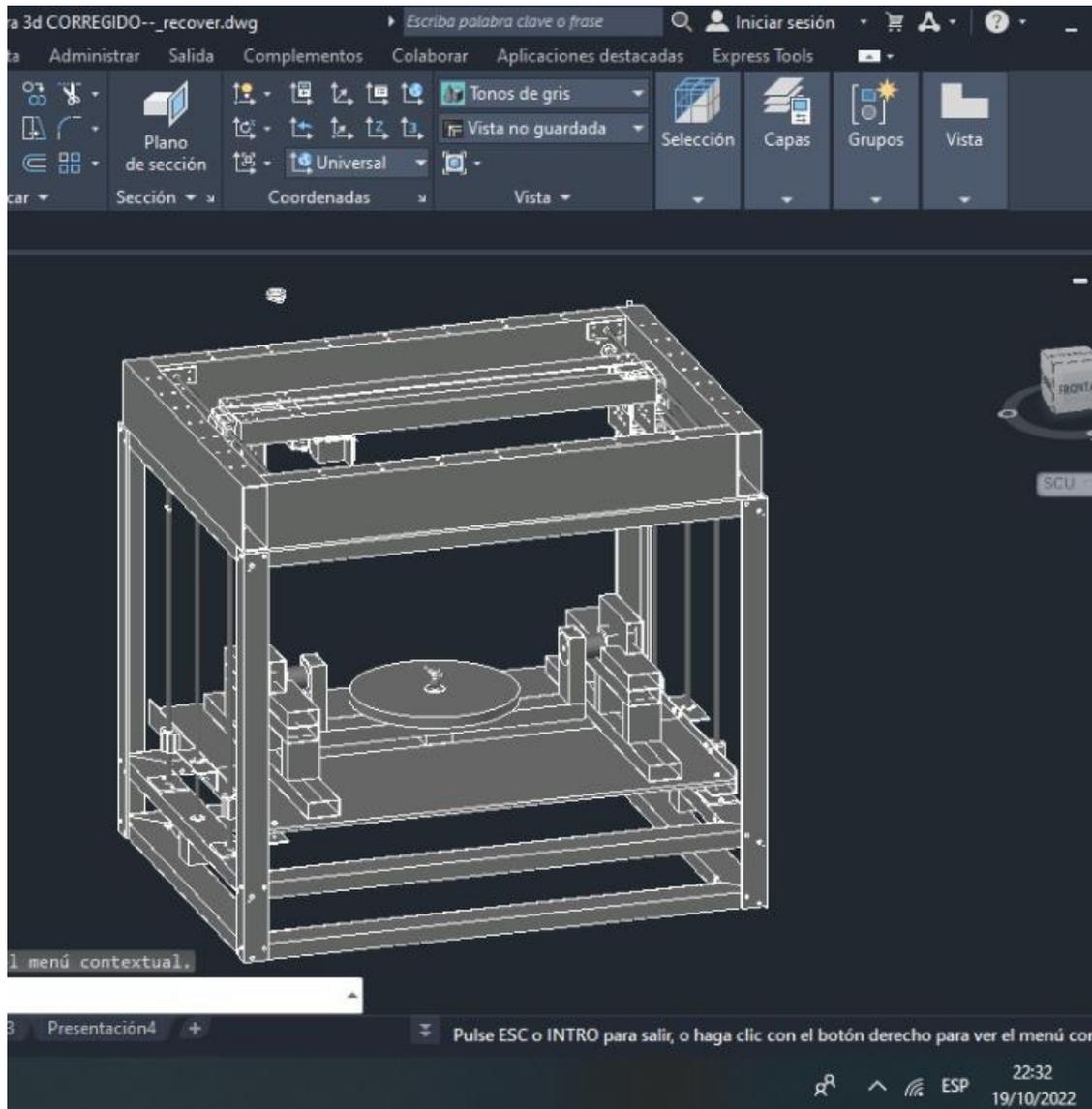
Tabla 04. Ficha de costo de material de la impresora 3d

Descripción de materiales	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
kit motor paso a paso conectores nema17, 1.7A	Unidad	1	204	204
kit motor paso a paso conectores nema17, 1.A	Unidad	1	67.8	67.8
Eje roscado 8mm con husillo	Unidad	1	84.8	84.8
Tuerca t8 ANTIBACKLASH	Unidad	2	15.53	31.06
Acoplamiento flexible 5x8	Unidad	1	13.72	13.72
Soporte KFL08	Unidad	1	17.7	17.7
Trapezoide para eje roscado t8	Unidad	1	55	55
Eje lineal t8	Unidad	1	170.99	170.99
Trapezoide de deslizamiento t8	Unidad	1	31.91	31.91
Kit extrusor mk10	Unidad	1	88.94	88.94
Kit control electrónico	Unidad	1	170.19	170.19
Vidrio para cama caliente	Unidad	1	40	40
Kit de nivelación	Unidad	1	8.85	8.85
Pernos milimétricos 3mm	Unidad	3	5.71	17.13
Pernos milimétricos 4mm	Unidad	1	8	8
Pernos 3mm	Unidad	1	10	10
Perfil aluminio 50x25x5950mm	Unidad	2	120	240
Perfil aluminio regla 40x3x5950mm	Unidad	1	35	35
Perfil aluminio L 38x2x5950mm	Unidad	1	60	60
Fuente de alimentación	Unidad	1	153.03	153.03
Cobre cable de 6mm	Unidad	1	1.05	1.05
Cobre cable de 8mm	Unidad	1	1.72	1.72
Correa dentada GT2 de 6mm	Unidad	1	9	9
Cinta led blanca 1m	Unidad	1	4	4
Cinta led RGB 1m	Unidad	1	4	4
Módulo ESP32 con cámara	Unidad	1	36.26	36.26
TOTAL				1498.13

Fuente: Elaboración propia

1.2. Idear el plano del prototipo de impresora 3D para la construcción de viviendas de barro

Fue necesario tomar en cuenta las características definidas anteriormente para llevar a cabo el diseño en modelo 2D el cual se puede visualizar en el anexo 05 presentando así el resultado del modelo completo en 3D mediante el programa AutoCAD, por ello se llegó a mostrado a continuación.



Este resultado corresponde a la tercera etapa de la metodología design thinking en la cual se adaptó el diseño a las características determinadas para enfocar la información obtenida.

Debido a todos los elementos necesarios para su funcionamiento, se decidió que el material utilizado para la estructura sería el aluminio, debido a su bajo peso, resistencia a la corrosión y su bajo costo.

Para unificar las piezas elaboradas y facilitar el ensamble se hizo uso de pernos de acero inoxidable, además se consideraron placas de aluminio como soporte para las varillas pertenecientes a los tres ejes, para movilizar los ejes y lograr estabilidad se consideraron varillas lisas y roscadas, un motor para el eje X, dos motores para el eje Y, dos para el eje Z y uno para el extrusor de barro, estos complementados con acopladores para su correcto funcionamiento y trapezoides de deslizamiento, también se añadió una pantalla LCD para que su manejo sea lo más sencillo posible y para la parte electrónica, se trabajó con el arduino mega 2560 junto con la placa ramps 1.4 ya que es la más usada en el control de impresoras 3D.

Por último, el extrusor de barro fue de acero inoxidable reforzado con una base de aluminio, el cual se diseñó para ser desmontable para futuras mejoras o para un cambio a un mecanismo

1.3. Comparar ratios de construcción entre el método tradicional y el método con impresión 3D para la construcción de viviendas de barro

Tras la construcción del prototipo de impresora 3D, se realizaron dos evaluaciones:

- La construcción mediante el prototipo de impresora 3D, considerando las medidas, el tiempo de impresión y el costo de mano de obra se realizaron las observaciones correspondientes tal y como se visualiza en el anexo 06 registrando los datos obtenidos llegando así a los siguientes resultados.

Tabla 05. Ficha de información del prototipo

N	01	02	03	Promedio
mm lineales	480	480	480	480
mm verticales	14	14	14	14
Volumen(mm3)	23 520	23 520	23 520	23 520
Tiempo de impresión (s)	336	336	336	336
mm lineales/s	1.43	1.43	1.43	1.43
mm verticales/s	3.5	3.5	3.5	3.5
Volumen transportado (mm3/s)	70	70	70	70
Resolución de impresión (calidad)	2	2	2	2
Cantidad de mano de obra (tiempo hr h)	6	6	6	6
Costo de mano de obra (x hora)	4.84	4.84	4.84	4.84
Costo total	29.04	29.04	29.04	29.04
Costo mano de obra / mm2	0.00432	0.00432	0.00432	0.00432
Tiempo de secado hrs (después de 6 capas)	24	24	24	24

Fuente: Anexo 05

- La construcción tradicional, considerando las medidas y tiempo de construcción, se realizaron las observaciones de construcción tradicional en el distrito de Chalaco considerando tres jornadas laborales de 8 hrs tal y como se muestra en el anexo 07 llegando de esa forma a los resultados que se muestran a continuación

Tabla 06. Ficha de registro de la construcción

Construcción de viviendas tradicionales				
Dimensiones del adobe (m)				
Largo	0.39			
Ancho	0.27			
Altura	0.12			
Fecha	08/09/2022	10/09/2022	11/09/2022	Promedio
m lineales	306	204	204	238
m verticales	1.48	0.94	0.98	1.13
Volumen(m3)	108.69	51.78	53.98	71.48
m lineales por hora (m/h)	38.25	25.5	25.5	29.75
m verticales/h	0.19	0.12	0.12	0.14
Volumen construido (m3/h)	13.59	6.47	6.75	8.94
Cantidad de mano de obra	12	18	20	16
Costo de mano de obra	30	30	30	30
Costo total	360	540	600	500
Costo mano de obra / m2	7.15	16.90	18.00	14.00
Cantidad de material (adobes)	846	564	564	658
Costo de material/adobe	1	1	1	1
Costo total de material	846	564	564	658
Costo de material / m2	16.81	17.65	16.92	17.13
Tiempo de secado hrs (después de 9 hileras)	24	24	24	24

Fuente: Elaboración propia.

Lo primero que cabe destacar es que las medidas de los prototipos no presentan variaciones puesto que la impresora reproduce las medidas mediante un software previamente configurado obteniendo una mayor precisión que en método tradicional. Además, con esta alternativa se puede visualizar que con el método de impresión 3D se reducen los costos de mano de obra ya que solo se necesitaría un operario para el manejo de la máquina y a su vez no será necesario invertir más en material de construcción debido a que las impresiones se pueden realizar con la misma mezcla utilizada en lo tradicional incluso sin desperdicios.

1.4. Comparar la resistencia de material del método tradicional y método con impresión 3D para la construcción de viviendas de barro

Se realizaron pruebas de compresión del material utilizado para la construcción tradicional que en este caso son los bloques de adobe y pruebas de compresión de las impresiones realizadas como se puede evidenciar en el anexo 08 llevando un registro de los datos obtenidos consiguiendo los siguientes resultados

Tabla 07. Prueba de resistencia (impresión 3D)

Unidad de prueba	Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)	Carga de rotura kg	Resistencia Kg/cm ²
01	4	0.35	3	24.2	2.017
02	4.1	0.35	2.9	26.5	2.229
03	4	0.35	3	24	2.000

Promedio	2.082
----------	-------

Fuente: Elaboración propia

Tabla 08. Prueba de resistencia (Construcción tradicional)

Unidad de prueba	Largo (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)	Carga axial kg	Resistencia (kg/cm ²)
01	39	12	27	2103	1.997
02	38.5	12	27	2112	2.032
03	39	12	27	2089	1.984
Promedio	2.004				

Fuente: Elaboración propia.

Se puede visualizar que la resistencia del material varía en 0.078 (kg/m²) dado que en la propuesta de impresión se realiza la construcción con la misma mezcla utilizada en la construcción tradicional, barro, agua y como aditivo paja de trigo.

V. DISCUSIÓN

5.1. Determinar las características para la elaboración de un prototipo de impresora 3D para la construcción de viviendas de barro.

Se establecieron las características más importantes de lo cual se pudo observar que es necesario desarrollar la impresora teniendo en cuenta el material con el que se trabajará y adaptarlo a ello de acuerdo con (Amado, 2019) quien realizó un trabajo de diseño de una impresora en el cual planteó sus principales características del dispositivo, menciona que es esencial elaborar un análisis de los elementos más importantes para evitar deformaciones y encontrar la mejor estructura de acuerdo a las necesidades y propiedades que se desea cumplir, además la autora menciona similares características a detallar las cuales son Dimensiones, Material empleado, Peso, Área de operación, Max. Altura, Área de impresión, Velocidad de impresión, Precisión de posicionamiento, Motor de los ejes X / Y / Z y Potencia consumida considerando que, al igual que en presente proyecto de investigación, la mejor opción a elegir es una impresora de sistema cartesiano y establecer las características a partir de la comparación de las especificaciones de diversas impresoras y a su vez adaptarlas al material de impresión así asegurar la calidad puesto que, esta se da mediante la técnica de capa por capa para lograr la reproducción de un objeto sólido cumpliendo con el concepto principal de una impresora 3D tal como lo describe (Berchon y Luyt, 2016).

5.2. Idear el plano del prototipo de impresora 3D para la construcción de viviendas de barro.

Para la elaboración del plano del prototipo de la impresora fue necesario tomar en cuenta el material, las dimensiones, entre otros requerimientos previamente establecidos en acuerdo con (Kidwell, 2017) quien menciona que el diseño es un factor crucial, y a diferencia del presente proyecto, en su investigación trabajó con hormigón, aclara que es posible desarrollar esta tecnología con otros tipos de material en la industria de la construcción pero para ello es importante adaptar la estructura y el extrusor del dispositivo. Un aspecto en común con el autor es el uso de programas de diseño para plasmar lo que se desea hacer siguiendo los requerimientos y cumpliendo a su vez con el concepto de diseño en ingeniería el

cual se basa en cumplir especificaciones para cubrir una necesidad o problemática a través de un proceso creativo respaldado por la ingeniería (ICFES, 2016)

5.3. Comparar ratios de construcción entre el método tradicional y el método con impresión 3D para la construcción de viviendas de barro.

Tras una comparación de ratios relacionados al material y la mano de obra, se puede visualizar una clara reducción de costos tal y como lo mencionan (Schuldt, Jagoda, Hoisington, Delorit, 2021) quienes en su investigación indican que la compatibilidad de los materiales es un aspecto importante que define si la tecnología de construcción impresa en 3D se adoptará e implementará o no en zonas geográficamente de difícil acceso , en cuanto a la mezcla utilizada es necesario que el material cuente con ciertas propiedades, entre ellas: de bajo costo, fácilmente disponible, duradero, resistente a la compresión, resistente al fuego y capaz de adoptar casi cualquier forma siendo así que el barro cumple con los requisitos principales y además es un material térmico. Los mismos autores mencionan además que el mayor beneficio de la impresión 3D en el sector construcción es la reducción de costos de mano de obra teniendo en cuenta que los errores humanos por la falta de mano de obra calificada disponible en ubicaciones remotas representan más del 80 % del total de defectos en la construcción de viviendas, estos pueden resolverse mediante un proceso automatizado. Esto concuerda con el concepto de construcción en barro por (Rodrigues, 2007) quien menciona que es posible hallar la materia prima fácilmente y en gran cantidad, es muy fácil de manipular, no genera basura ni contaminaciones en ninguna de las fases de su preparación, manipulación, construcción y uso posterior. Además, se destaca el confort térmico que brinda a diferencia de los materiales convencionales, con estas técnicas aplicadas se puede garantizar una temperatura interna entre los 20 y 25°C todo el año, independientemente de las temperaturas externas. Es así como se afirma que el uso de barro para la construcción fortalece y capacita la probabilidad de contribuir a la formación de viviendas sustentables y con la técnica de impresión 3D se reducen costes y riesgos.

5.4. Comparar la resistencia de material del método tradicional y método con impresión 3D para la construcción de viviendas de barro

Tras la comparación entre la resistencia de un adobe tradicional y una impresión en 3D no existe una variación significativa debido a que se hizo uso de la misma mezcla de la construcción tradicional, esto va a permitir que el material sea compatible y se adopte al entorno en el que se realiza haciendo posibles las construcciones en barro mediante impresión 3D como una nueva alternativa además de las impresiones en hormigón que son las más utilizadas en este método tal y como lo mencionan (Schuldt, Jagoda, Hoisington, Delorit, 2021) quienes señalan que existe una lista muy limitada de materiales imprimibles disponibles existentes por lo tanto surge la necesidad de desarrollar y estandarizar nuevos materiales plantean desafíos adicionales para la adopción de la construcción impresa en 3D, particularmente en entornos remotos donde resulta más complicado el control de materiales, los mismo deben poseer propiedades fluidas adecuadas para ser impresos, al mismo tiempo que muestran suficiente resistencia y propiedades sólidas para asegurar el mantenimiento de su forma, resistir el peso propio durante todo el proceso de impresión y lograr el rendimiento estructural deseado, cumpliendo así con el concepto de impresiones en barro descrito por TECLA House, la primera vivienda de arcilla impresa en 3D (2021) que indica que el barro es uno de los materiales utilizados para la construcción desde tiempos remotos y al día de hoy puede volver a ser valorado utilizando tierra de la zona realizando la mezcla con paja incluso con otras fibras vegetales ofreciendo resistencia y actuando como barrera térmica representando viabilidad económica.

VI. CONCLUSIONES

Las características principales que se deben tener en cuenta en la elaboración de una impresora 3D son: Tipo de impresora, Dimensiones, Área de impresión, Diámetro de boquilla, Avance por revolución, Caudal, Densidad de la mezcla, Potencia del extrusor, Potencia de alimentación, Software compatible, Formatos compatibles, Consumo eléctrico, Especificaciones del motor tal y como se muestra en la tabla 03 y se mostró las referencias utilizadas en el anexo 04

Se ideó el plano de una impresora de 805 x 610 x 700 mm utilizando el software de diseño AutoCAD, se diseñó con tres ejes, perfiles de aluminio, el circuito electrónico en la parte inferior, la cama caliente de vidrio, un extrusor de barro de 16cm de longitud ubicado en la parte superior de la impresora obteniendo el modelo en 2d y 3d tal como se muestra en el anexo 05 e

Tras comparar los ratios de construcción entre el método tradicional y la impresión 3D se llegó a la conclusión de que, los costos de mano de obra se reduce casi en su totalidad dado que tradicionalmente en una jornada se necesitan 12 colaboradores mientras que en la impresión de casas solo se necesitaría un operario.

La comparación de la resistencia del material entre el método tradicional y la impresión 3D, medida en kg/cm^2 , varía en 0.078, es decir, el método propuesto no afecta significativamente en la resistencia de material.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer uso de las técnicas de impresión 3D para otras aplicaciones en el sector construcción además de viviendas como puentes, carreteras, etc. Así como también emplearla como alternativa de innovación en el sector turismo (construcción de atracciones).

Se recomienda, en el caso de realizar estudios de impresión 3DA en otro tipo de zona y material, realizar una evaluación de impacto ambiental.

Se recomienda el uso del prototipado mediante impresión 3D con fines didácticos y experimentales como productos con otros tipos de material y diseño, en diferentes campos de la ingeniería, así como también en el campo de la medicina.

Se recomienda elaborar un plan de mantenimiento adaptado para este tipo de tecnología y de acuerdo al modelo y estructura de la impresora.

REFERENCIAS

3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction?

HAGER, I. GOLONKA, A., PUTANOWICZ, R. 2016. Cracow : s.n., 2016, Vol. 151.

3d Printing Trends in Building and Construction Industry. **MEHAR, P. et al. 2020.** 3, Maharashtra : IJSRST, 2020, Vol. 7. ISSN: 2395-602X.

A systematic review and analysis of the viability of 3D-printed construction in remote environments. **SCHULDT, S., JAGODA J., HOISINGTON A., DELORIT J. 2021.** 2021.

AMADO, S. 2019. *Diseño de una impresora 3D para la construcción de viviendas .* Barcelona : s.n., 2019.

Análisis de costos en evaluaciones económicas. **LENZ, R. 2010.** 2, Santiago de Chile : Scielo, 2010, Vol. 138. ISSN: 0034-9887.

ANDREU, C. 2019. *CONSTRUCCIONES CON IMPRESORA 3D COMO HERRAMIENTA DE INNOVACIÓN PARA EL FUTURO.* Valencia : s.n., 2019.

ARIZA, K. 2017. *Diseño de un manual de procedimientos para el control contable del inventario de los insumos de la empresa AGROTAIRONA S.A.* Santa Marta : s.n., 2017.

BERCHON, M. y LUYT, B. 2016. *La impresión 3d.* Barcelona : s.n., 2016. ISBN: 978-84-252-2855-1.

CASTRO, D. 2019. *Las fuentes de financiamiento y su repercusión en el crecimiento empresarial de las Mypes en Lima Norte.* Lima : s.n., 2019.

CROSS, M. y PLUNKETT, E. 2014. *Methods of Data Analysis.* s.l. : Cambridge, 2014. ISBN: 9781107326200.

Data Collection Methods for Evaluation: Document Review. **CDC. 2018.** 18, 2018.

DIAZ, J. 2018. *Tecnología de impresión 3D.* Bogotá : Cuadernos Latinoamericanos de Administración, 2018. ISSN: 1900-5016.

DIB, M. 2018. *Design thinking: Comprensión de la metodología actual para su utilización efectiva en organizaciones alrededor del mundo.* Buenos Aires : s.n., 2018.

El concepto diseño: Reflexiones teóricas. **SANCHEZ, E. 2012.** 4, Guanajuato : Insigne visual, 2012, Vol. 1. ISSN: 2007-3151.

El protocolo de investigación III: La población de estudio. **ARIAS, J. 2016.** 2, México : Alergia México, 2016, Vol. 63. ISSN: 0002-5151.

El uso de la tierra como elemento constructivo en Brasil: un corto panorama del proceso histórico, manejo, usos, desafíos y paradigmas. **RODRIGUES, R. 2007.** 2, Bogotá : Scielo, 2007, Vol. 20. ISSN: 1657-9763.

FLORES, S. 2017. *Los costos de construcción como factor determinante de la rentabilidad "CONSTRUCTORA OVIEDO SAC".* Piura, 2017. Piura : s.n., 2017.

- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. 2014.** *Metodologías de la investigación*. México : Mc Graw Hill, 2014. 978-1-4562-2396-0.
- HERRERA, O. 2017.** *IMPRESIÓN 3D DE PROYECTOS DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN*. Santiago de Chile : s.n., 2017.
- ICFES. 2016.** *Diseño y sistemas de control*. Bogotá : s.n., 2016.
- Interviewing for research.* **Easwaramoorthy, M y Zarinpoush, F. 2006.** Canadá : Imagine Canadá, 2006.
- Introducción a los tipos de muestreo.* **HERNÁNDEZ, C. y CARPIO, N. 2019.** 1, El salvador : Revista científica del instituto nacional de salud, 2019, Vol. 2. ISSN: 2617-5274.
- KIDWELL, J. 2017.** *Best Practices and Applications of 3D Printing in the Construction Industry*. California : s.n., 2017.
- La planificación presupuestaria en universidades públicas.* **COLINA, L. y CUBILLÁN, A. 2012.** 1, Zulia : CICAG, 2012, Vol. 10. ISSN: 1856-6189.
- Las variables y su operacionalización en la investigación educativa. Segunda parte.* **ESPINOZA, E. 2019.** 69, Machala : Scielo, 2019, Vol. 15. ISSN 1990-8644.
- MAHECHA, J. 2021.** *Análisis de la implementación de la impresión 3D en el sector de la construcción en Colombia aplicando la metodología "Design thinking"*. Bogotá : s.n., 2021.
- MALPARTIDA, K. 2018.** *APLICACIÓN DE GESTIÓN DE RIESGOS EN LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE EDIFICACIÓN EN LA PROVINCIA DE PASCO-2018*. PASCO : s.n., 2018.
- MARTÍN, D. 2017.** *Curso básico de dibujo con AutoCAD*. Madrid : Fundación Gomez-Pardo, 2017. ISBN: 978-84-606-9856-2.
- MARTÍN, J. 2017.** *La construcción a través de la impresión 3D*. Madrid : s.n., 2017.
- MELENDEZ, R. 2021.** *PRÁCTICAS ESTRATÉGICAS PARA LA APLICACIÓN DEL RBPS DURANTE LA EJECUCIÓN DE OBRAS. CASO DE ESTUDIO: AREQUIPA METROPOLITANA*. Arequipa : s.n., 2021.
- MENDOZA, A. 2015.** *Optimización de costos utilizando la herramienta de gestión de proyectos en edificios multifamiliares*. Lima : s.n., 2015.
- Operationalizing Variables in Theoretical Frameworks: A Comparative Analysis.* **USMAN, M. 2015.** 1, Islamabad : Durresamin Journal, 2015, Vol. 1. ISSN: 2204-9827.
- Optimización racional de costos.* **ROJAS, M., VALENCIA, M. y CUARTAS, D. 2017.** 39, s.l. : Espacios, 2017, Vol. 38. ISSN 0798 1015.
- PILAY, E. 2019.** *Análisis de la factibilidad de implementación de impresoras 3D basado en tecnología FDM para la construcción de viviendas en la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil : s.n., 2019.
- Población, muestra y muestreo.* **LUIS, P. 2004.** 08, Cochabamba : Scielo, 2004, Vol. 09. ISSN: 18150276.
- Proyecciones de la construcción impresa en 3D en Chile.* **GARCIA-ALVARADO, R., y otros. 2020.** 1, Santiago de Chile : s.n., 2020, Vol. 35. ISSN 0718-5073.

RAO, S. 1996. *Engineering optimization*. ISBN 0-471-55034-5 : Copyright, 1996.

ROSELLÓ, D. 2021. *Estudio de las aplicaciones de la impresión 3D en el ámbito de la construcción*. Barcelona : s.n., 2021.

SANCHEZ, I. 2015. *Cronograma de actividades*. 2015.

SERRANO, M. y BLÁZQUEZ, P. 2016. *Design thinking*. s.l. : ESIC, 2016. ISBN: 9788416462704.

TAMAYO Y TAMAYO, M. 2006. *Metodología formal de la investigación científica*. México : Limusa, 2006. 968-18-1186-0.

TECLA House, la primera vivienda de arcilla impresa en 3D. **GONZÁLEZ, D. 2021.** s.l. : INMOBILIARE, 2021.

Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. **OTZEN, T. y MANTEROLA, C. 2017.** Temuco : International Journal of morphology, 2017.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos. **HERNÁNDEZ, S. y DUANA, D. 2020.** 17, Hidalgo : UAEH, 2020, Vol. 9. ISSN: 2007-4913.

Validación de un instrumento para medir la vulnerabilidad en relación con la capacidad de respuesta de la comunidad ante desastres. **ÁLVAREZ, J., y otros. 2019.** 62, Caldas : Revista geográfica de america central, 2019. ISSN: 1011-484X.

ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Escala
Variable independiente Elaboración de un prototipo de una impresora 3D	Elaboración de una máquina capaz de construir un objeto tridimensional de cualquier forma a raíz del modelado 3D generalmente por medio de un proceso de adición de material, es decir el objeto es construido por la superposición de capas de material que se agregan una sobre otra (DIAZ, 2018).	Actúa como una herramienta tecnológica actual para la impresión de prototipos de viviendas de barro.	Características	Tipo de impresora Dimensiones Área de impresión (mm ²) Diámetro de boquilla (mm) Avance por revolución (vueltas/mm) Caudal (mm ³ /t) Densidad de la mezcla (g/cm ³) Potencia del extrusor (Watts) Potencia de alimentación (Watts) Consumo eléctrico Software y formatos compatibles Especificaciones del motor Costo de elaboración (S/.)	Razón

			Funciones del Prototipo	Velocidad de impresión (<i>mm/s</i>) Resolución de impresión (calidad) Volumen transportado m ³ /h Tiempo de secado	Razón
			Resistencia de material	Resistencia a la compresión	Razón
			Costos funcionales	Costos de mano de obra / mm Costos de materiales / mm	Razón
Variable dependiente Construcción de viviendas de barro	Construcción que utiliza tierra de la zona mezclada con paja u otras fibras vegetales, todos estos elementos existentes en gran cantidad y porque el material empleado actúa como barrera térmica ofreciendo comodidad en la vivienda ya que en época de verano brindan frescura y en épocas de invierno son cálidas además de representar viabilidad económica. (TECLA House, 2021)	Análisis de mejora de la construcción de viviendas de barro mediante la impresión 3D	construcción	Metros lineales por hora Metros verticales por hora Volumen m ³ /h Tiempo de secado	Razón
			Resistencia de material	resistencia a la compresión	Razón
			costos	Costo de mano de obra/ m ² (S/) Costo de materiales/ m ² (S/)	Razón

ANEXO 2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANEXO 2-a.

FICHA DE REGISTRO DE CARACTERÍSTICAS DE LA IMPRESORA 3D

IMPRESORA 3D	
Tipo de impresora	
Dimensiones (mm)	
Área de impresión	
Diámetro de boquilla (mm)	
Avance por revolución (vueltas/mm)	
Caudal (mm ³ /s)	
Densidad de la mezcla (g/mm ³)	
Potencia del extrusor	
Potencia de alimentación	
Software compatible	
Formatos compatibles	
Consumo eléctrico	
Especificaciones del motor	
Actual/ fase (A)	
Celebración de par (Nm)	
Angulo de paso (Grados)	
Fase	

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 2-b.

FICHA DE COSTO DE MATERIAL DE LA IMPRESORA 3D

Impresora 3D	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Materiales				
Total				

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2-c.

FICHA DE INFORMACIÓN DEL PROTOTIPO

N	01	02	03	Promedio
mm lineales				
mm verticales				
Volumen(mm3)				
Tiempo de impresión				
mm lineales/min				
mm verticales/min				
Volumen transportado (mm3/s)				
Resolución de impresión (calidad)				
Cantidad de mano de obra				
Costo de mano de obra				
Costo total				
Costo mano de obra / mm2				
Tiempo de secado				

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2-d.

PRUEBA DE RESISTENCIA (Impresión 3D)

Unidad de prueba	Longitud	altura	espesor	Carga de rotura	Resistencia
01					
02					
03					

Promedio

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2-e.

FICHA DE REGISTRO DE LA CONSTRUCCIÓN	
Construcción de viviendas tradicionales	
Dimensiones del adobe (m)	
Largo	
Ancho	
Altura	

Fecha	08/09/2022	10/09/2022	11/09/2022	Promedio
m lineales				
m verticales				
Volumen(m3)				
m lineales por hora (m/h)				
m verticales/h				
Volumen construido (m3/h)				
Cantidad de mano de obra				
Costo de mano de obra				
Costo total				
Costo mano de obra / m2				
Cantidad de material (adobes)				
Costo de material/adobe				
Costo total de material				
Costo de material / m2				
Tiempo de secado				

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 2-f.

PRUEBA DE RESISTENCIA (Construcción tradicional)

Unidad de prueba	Longitud	altura	espesor	Carga de rotura	Resistencia
01					
02					
03					

Promedio	
----------	--

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 3. VALIDACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE

Variable independiente: Elaboración de un prototipo de impresora 3D

N.º	DIMENSIONES / INDICADORES	Pertinencia1		Relevancia2		Claridad3		Sugerencias
		Si	No	Si	No	Si	No	
	DIMENSIÓN 1: Características							
1	Tipo de impresora	x		x		x		
2	Dimensiones	x		x		x		
3	Área de impresión	x		x		x		
4	Diámetro de boquilla	x		x		x		
5	Avance por revolución	x		x		x		
6	Caudal	x		x		x		
7	Densidad de la mezcla	x		x		x		
8	Potencia del extrusor	x		x		x		
9	Potencia de alimentación	x		x		x		
10	Consumo eléctrico	x		x		x		
11	Software y formatos compatibles	x		x		x		
12	Especificaciones del motor	x		x		x		
13	Costo de elaboración							
	DIMENSIÓN 2: Funciones de prototipo	Si	No	Si	No	Si	No	
1	Velocidad de impresión	x		x		x		
2	Resolución de impresión	x		x		X		
3	Volumen transportado	x		x		X		
	DIMENSIÓN 3: Resistencia de material	Si	No	Si	No	Si	No	
1	Resistencia a la compresión	x		x		x		
	Dimensión 4: Costos funcionales	Si	No	Si	No	Si	No	
1	Costos de mano de obra/mm	x		x		x		
2	Costos de material/mm	x		x		x		

Observaciones (precisar si hay suficiencia): _____

Opinión de aplicabilidad: **Aplicable [x]** **Aplicable después de corregir []** **No aplicable []**

Apellidos y nombres del juez validador. Dr./ Mg: Dr. Hugo Daniel García Juárez

DNI: 41947380

Especialidad del validador: Ingeniería Industrial – Producción y Logística

1**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

2**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo 3**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión

28 de junio de 2022



Hugo Daniel García Juárez
INGENIERO INDUSTRIAL
CIP 110495


Firma del Experto Informante.

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE Variable dependiente: construcción de viviendas de barro

N.º	DIMENSIONES / INDICADORES	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		Sugerencias
		Si	No	Si	No	Si	No	
	DIMENSIÓN 1: Construcción							
1	Metros lineales por hora	x		x		x		
2	Metros verticales por hora	x		x		x		
3	Volumen	x		x		x		
	DIMENSIÓN 2: Resistencia de material							
1	Resistencia a la compresión	x		x		x		
	DIMENSIÓN 3: Costos							
1	Costo de mano de obra/m ²	x		x		x		
2	Costo de materiales/m ²	x		x		x		

Observaciones (precisar si hay suficiencia): _____

Opinión de aplicabilidad: **Aplicable** [x] **Aplicable después de corregir** [] **No aplicable** []

Apellidos y nombres del juez validador. Dr./ Mg: **Dr. Hugo Daniel García Juárez** **DNI: 41947380**

Especialidad del validador: **Ingeniería Industrial – Producción y**

Logística

Nota: Si se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión

1Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

2Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo **3Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

Hugo Daniel García Juárez

Hugo Daniel García Juárez
 INGENIERO INDUSTRIAL
 QIF 110495

----- Firma del Experto Informante.

18 de octubre de 2022

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE

Variable independiente: Elaboración de un prototipo de impresora 3D

N.º	DIMENSIONES / INDICADORES	Pertinencia1		Relevancia2		Claridad3		Sugerencias
		Si	No	Si	No	Si	No	
	DIMENSIÓN 1: Características							
1	Tipo de impresora	x		x		x		
2	Dimensiones	x		x		x		
3	Área de impresión	x		x		x		
4	Diámetro de boquilla	x		x		x		
5	Avance por revolución	x		x		x		
6	Caudal	x		x		x		
7	Densidad de la mezcla	x		x		x		
8	Potencia del extrusor	x		x		x		
9	Potencia de alimentación	x		x		x		
10	Consumo eléctrico	x		x		x		
11	Software y formatos compatibles	x		x		x		
12	Especificaciones del motor	x		x		x		
13	Costo de elaboración							
	DIMENSIÓN 2: Funciones de prototipo	Si	No	Si	No	Si	No	
1	Velocidad de impresión	x		x		x		
2	Resolución de impresión	x		x		X		
3	Volumen transportado	x		x		X		
	DIMENSIÓN 3: Resistencia de material	Si	No	Si	No	Si	No	
1	Resistencia a la compresión	x		x		x		
	Dimensión 4: Costos funcionales	Si	No	Si	No	Si	No	
1	Costos de mano de obra/mm	x		x		x		
2	Costos de material/mm	x		x		x		

Observaciones (precisar si hay suficiencia): No hay observaciones

Opinión de aplicabilidad: Aplicable Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador. Dr./ Mg: Lachira Estrada Diego Salvador

DNI: 45063280

Especialidad del validador: Ingeniero Pesquero

18 de octubre de 2022

- 1**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado.
- 2**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo
- 3**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión



Firma del Experto Informante.

Mg. Ing. Diego S. Lachira Estrada
DNI: 45063280
CIP: 155695

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE

Variable independiente: Elaboración de un prototipo de impresora 3D

N.º	DIMENSIONES / INDICADORES	Pertinencia1		Relevancia2		Claridad3		Sugerencias
		Si	No	Si	No	Si	No	
	DIMENSIÓN 1: Características							
1	Tipo de impresora	x		x		x		
2	Dimensiones	x		x		x		
3	Área de impresión	x		x		x		
4	Diámetro de boquilla	x		x		x		
5	Avance por revolución	x		x		x		
6	Caudal	x		x		x		
7	Densidad de la mezcla	x		x		x		
8	Potencia del extrusor	x		x		x		
9	Potencia de alimentación	x		x		x		
10	Consumo eléctrico	x		x		x		
11	Software y formatos compatibles	x		x		x		
12	Especificaciones del motor	x		x		x		
13	Costo de elaboración							
	DIMENSIÓN 2: Funciones de prototipo							
1	Velocidad de impresión	x		x		x		
2	Resolución de impresión	x		x		X		
3	Volumen transportado	x		x		X		
	DIMENSIÓN 3: Resistencia de material							
1	Resistencia a la compresión	x		x		x		
	Dimensión 4: Costos funcionales							
1	Costos de mano de obra/mm	x		x		x		
2	Costos de material/mm	x		x		x		

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE Variable dependiente: construcción de viviendas de barro

N.º	DIMENSIONES / INDICADORES	Pertinencia1		Relevancia2		Claridad3		Sugerencias
		Si	No	Si	No	Si	No	
	DIMENSIÓN 1: Construcción							
1	Metros lineales por hora	x		x		x		
2	Metros verticales por hora	x		x		x		
3	Volumen	x		x		x		
	DIMENSIÓN 2: Resistencia de material							
1	Resistencia a la compresión	x		x		x		
	DIMENSIÓN 3: Costos							
1	Costo de mano de obra/m2	x		x		x		
2	Costo de materiales/m2	x		x		x		

Observaciones (precisar si hay suficiencia): _____

Opinión de aplicabilidad: Aplicable Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador. Dr./ Mg: Mondragón Sandoval Miguel Fernando DNI: 44935789

Especialidad del validador: Ingeniero Industrial

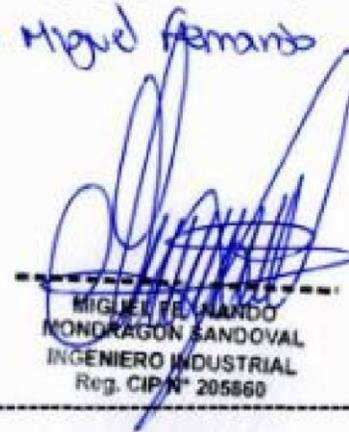
18 de octubre de 2022

«Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

«Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

«Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems

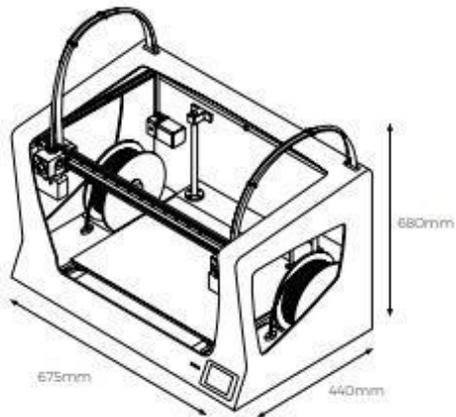


MIGUEL FERNANDO
MONDRAGON SANDOVAL
INGENIERO INDUSTRIAL
Reg. CIP N° 205860

Firma del Experto Informante.

ANEXO 04. Referencia de especificaciones de otras impresoras 3D
 Figura 01. Especificaciones impresoras Sigma R19

SIGMAX R19 SPECIFICATIONS



PRINTER PROPERTIES

Technology
Fused Filament Fabrication (FFF)

Architecture
Independent Dual Extruder (IDEX)

Printing volume
420mm x 297mm x 210mm

Extruders
2

Warranty
**2 years for EU countries.
 1 year for non-EU countries.**

Extruder system
**Extruder Bondtech™ high-tech dual drive gears.
 Hotends: Optimized and manufactured by e3D™.**

Printing Models
**Regular
 Dual-IDEX
 Duplication
 Mirror**

Electronics
**BCN3D Electronics v1.0
 Independent Stepper Drivers**

Firmware
BCN3D Sigma - Marlin

Heated bed
PCB

Screen
Full Color Capacitive Touchscreen

Supported files
gcode

Operating Sound
50 dB(A)

Nozzle diameter
**0,3mm / 0,4mm / 0,5mm (Special) /
 0,6mm (Standard) / 0,8mm / 1,0mm**

Certifications
CE / FCC

Connectivity
**SD Card (autonomous)
 USB**

PHYSICAL DIMENSIONS

Overall dimensions
**675mm x 440mm x 680mm
 (including cables)**

Weight: **20 kg**
 (without filament spools)

Shipping box dimensions
550mm x 790mm x 674mm

Shipping weight: **24 kg**

MATERIALS

Filament diameter
2,85 ± 0,05 mm

Compatible Materials
**PLA
 NYLON
 PET-G
 ABS
 TPU
 PVA
 Composites
 Others**

PRINTING PROPERTIES

Layer height
0,05 - 0,5mm
 (depending on the nozzle diameter)

Positioning resolution (X/Y/Z)
1,25µm / 1,25µm / 1µm

Operating temperature
15°C - 35°C

Extruder maximum temperature
290°C

Heated bed maximum temperature
100°C

SOFTWARE

File preparation software
**BCN3D Cura (recommended),
 Simplify3D, Slic3r**

Operative Systems
Windows, Mac, Linux

Supported files
STL, OBJ, AMF

ELECTRIC PROPERTIES

Input
AC 84-240V, AC 3,6-1,3A, 50-60Hz

Output
24V DC, 25A

Power Consumption
370W

Figura 02. Especificaciones impresoras Sigma R19

SIGMA R19 SPECIFICATIONS

<p>PRINTER PROPERTIES</p> <p>Technology Fused Filament Fabrication (FFF)</p> <p>Architecture Independent Dual Extruder (IDEX)</p> <p>Printing volume 210mm x 297mm x 210mm</p> <p>Extruders 2</p> <p>Warranty 2 years for EU countries. 1 year for non-EU countries.</p> <p>Extruder system Extruder Bondtech™ high-tech dual drive gears. Hotends: Optimized and manufactured by e3D™.</p> <p>Printing Models Regular Dual-IDEX Duplication Mirror</p>	<p>Electronics BCN3D Electronics v1.0 Independent Stepper Drivers</p> <p>Firmware BCN3D Sigma - Marlin</p> <p>Heated bed: PCB</p> <p>Screen Full Color Capacitive Touchscreen</p> <p>Supported files gcode</p> <p>Operating Sound 50 dB(A)</p> <p>Nozzle diameter: 0,3mm / 0,4mm (Standard) / 0,5mm (Special) / 0,6mm / 0,8mm / 1,0mm</p> <p>Certifications CE / FCC</p> <p>Connectivity SD Card (autonomous) USB</p>	<p>PHYSICAL DIMENSIONS</p> <p>Overall dimensions 465mm x 440mm x 680mm <i>(including cables)</i></p> <p>Weight: 15 kg <i>(without filament spools)</i></p> <p>Shipping box dimensions 550mm x 570mm x 674mm</p> <p>Shipping weight: 21 kg</p> <p>MATERIALS</p> <p>Filament diameter 2,85 ± 0,05 mm</p> <p>Compatible Materials PLA NYLON PET-G ABS TPU PVA Composites Others</p>	<p>PRINTING PROPERTIES</p> <p>Layer height 0,05 - 0,5mm <i>(depending on the nozzle diameter)</i></p> <p>Positioning resolution (X/Y/Z) 1,25µm / 1,25µm / 1µm</p> <p>Operating temperature 15°C - 35°C</p> <p>Extruder maximum temperature 290°C</p> <p>SOFTWARE</p> <p>File preparation Software BCN3D Cura (recommended), Simplify3D, Slic3r</p> <p>Operative Systems Windows, Mac, Linux</p> <p>Supported files: STL, OBJ, AMF</p>	<p>ELECTRIC PROPERTIES</p> <p>Input AC 84-240V, AC 3,6-1,3A, 50-60Hz</p> <p>Output 24V DC, 13A</p> <p>Power Consumption 240W</p>
---	--	--	--	--

Technical drawing of the Sigma R19 3D printer. The drawing shows the printer from a three-quarter perspective. Dimensions are indicated with arrows: 465mm for the width, 440mm for the depth, and 680mm for the height.

Figura 03. Especificaciones impresoras BOD2

Impresoras BOD2	
Dimensión exterior	-
Material empleado	Morteros y hormigón
Tecnología de construcción	Pórtico
Volumen máx. de impresión	6,9 x 19,8 x 9,1 m ³
Carga para extrusión	200 - 300 N
Velocidad de impresión	1 m/s
Max. altura	6,9 m
Precio de venta	191.000€ - 416.000€

Fuente: Amado (2019)

Figura 04. Especificaciones impresoras ApisCor

Impresora ApisCor	
Dimensión exterior	4,5 x 1,5 x 1,5 m ³
Material empleado	Geopolímero parecido al hormigón
Tecnología de construcción	Robot cilíndrico
Peso	20.000 N
Máx. Área de operación	132 m ²
Max. altura	3,10 m
Área de impresión	38 m ²
Velocidad de impresión	1 - 10 m/min
Velocidad de ralenti X/ Y	20 m/min
Precisión de posicionamiento	±0,5 mm
Motor de los ejes X / Y / Z	Servomotor
Potencia consumida	8 KW
Tiempo de instalación	30 minutos

Fuente: Amado (2019)

Figura 05. Especificaciones impresoras BigDelta

Impresora BigDelta	
Dimensión exterior	12 x 6 x 6 m ³
Material empleado	Adobe (barro y paja), geopolímeros
Tecnología de construcción	Suspensión por cables
Carga para extrusión	0 – 2.000 N, preferible 400 -500 N
Velocidad de impresión	24 m/min
Máx. altura	12 m

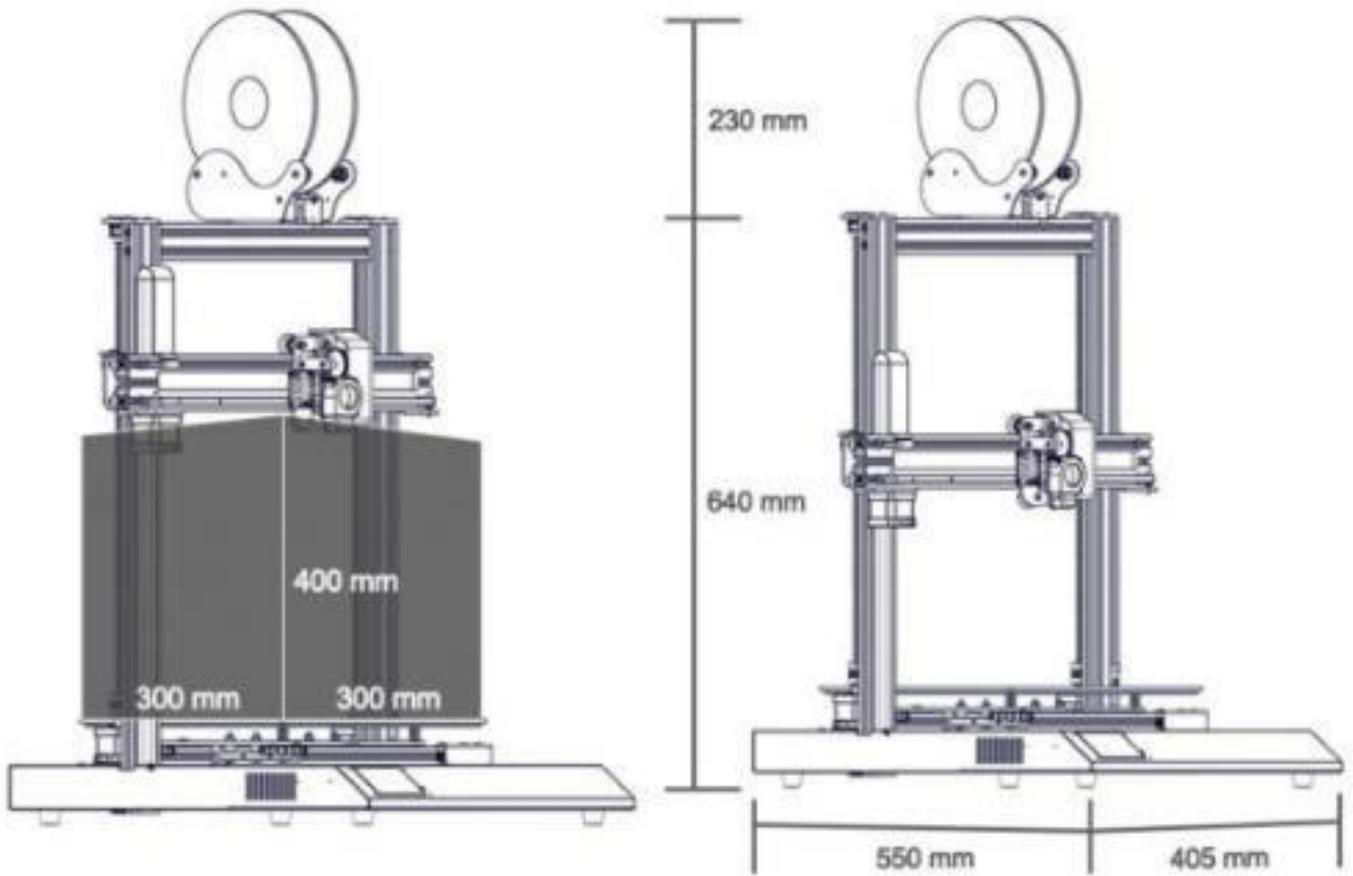
Fuente: Amado (2019)

Figura 06. Especificaciones impresoras cartesianas

DIMENSIONES	
Dimensiones externas máximas de la impresora	20 x 10 x 10 m ³
Área máxima de impresión	170 m ²
Altura máxima de impresión	8 m
Peso máximo impresora	150.000 N
Peso máximo del eje del cabezal extrusor	5.000 N
ESPECIFICACIONES DE IMPRESIÓN	
Mínima velocidad de impresión	20 m/min
Motor de los ejes X / Y / Z	Servomotor
Alimentación	Trifásica alterna
Máxima flexión de la flecha	± 40 mm
Materiales de impresión	Hormigón
Número de cabezales	1
Impresión de Multi-material	No
Tipo de impresión	Extrusión de material
INSTALACIÓN	
Tiempo máximo de instalación	72 horas

Fuente: Amado (2019)

Figura 07. Especificaciones impresoras MINGDA



Layer Resolution	0.1mm
Frame	Aluminum Extrusion
XYZ Positioning Accuracy	0.05mm, 0.05mm, 0.1mm
Printing Filament	PLA, ABS, TPU, Flexible Materials
Filament Diameter	1.75mm
Nozzle Diameter	0.4mm
Machine Dimensions	550 x 405 x 640 mm
	550 x 405 x 870 mm (with spool holder)
Shipping Box Dimensions	780 x 540 x 250 mm
Machine Weight	14kg
Shipping Weight	16.5kg

Maximum Print Speed	150 mm/s
Maximum Travel Speed	250mm/s
Build Volume	300 x 300 x 400 mm
Extruder Type	Titan Extruder (Direct Drive)
Maximum Build Plate Temperature	130C
Power Requirement	110V / 220V
	600W max (with heated bed turned on)
Connectivity	USB, TF Card, USB Stick
Control Board	MKS Gen L
Nozzle Type	Volcano

Figura 08. Especificaciones impresoras Delta

Las especificaciones incluyen:

Dimensiones de la impresora: 250 x 445 mm
 Tamaño de construcción: 130 x 150 mm
 Resolución de capa: 0,05 mm
 Diámetro de la boquilla: 0,4 mm
 Tamaño del filamento: 1,75 mm
 Material: PLA
 Conectividad: USB
 Temperatura de funcionamiento: 15 32 ° C (32 90 ° F)
 Paquete de software: Print Rite Repetier HOST
 Sistemas operativos: Windows 7, Mac OS X, Linux
 Tipo de archivo admitido: código STL / G



Figura 09. Especificaciones del motor Nema17

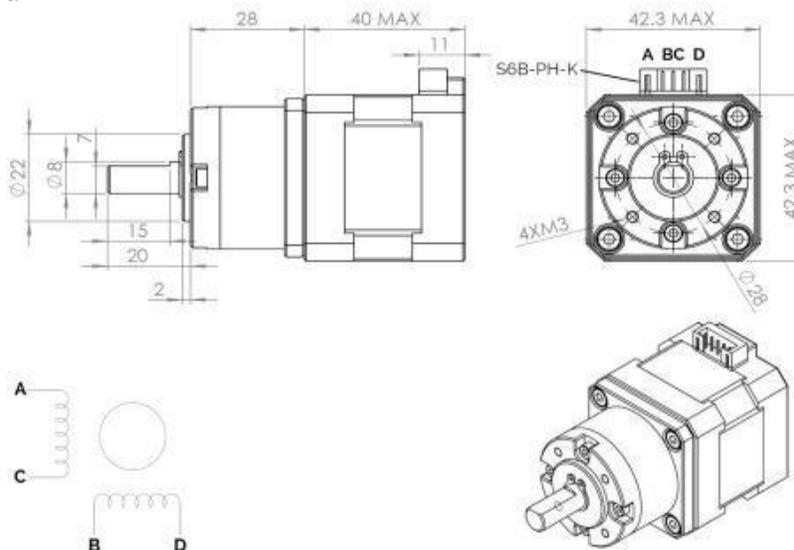
NEMA17 PLANETARY GEARED STEPPERMOTOR

COMMON RATINGS

Step angle: 1.8°
 Number of Phases: 2
 Insulation resistance: 100MΩ min. (500V DC)
 Insulation class: Class B
 Temperature max: 80°C
 Rotor inertia: 57g.cm²
 Mass: 240g (motor)

ELECTRICAL SPECIFICATION

Rated voltage: 2V
 Rated current: 1.2A
 Resistance per phase: 1.7Ω±10%
 Inductance per phase: 4.5mH±20%
 Holding torque: 320 mNm (motor)
 Gear ratio: 1:5,18
 Total weight: 408g with gearbox



Anexo 4-a. Matriz de características de impresoras 3D

	Ultimaker S5	Ultimaker S3	Formlabs Form 3	Dremel 3D45	Makerbot	LulzBot Mini 2	Prusa i3 MK3S original	BCN3D SigmaX
Tecnología	FDM / FFF	FDM / FFF	SLA	FDM / FFF	FDM / FFF	FDM / FFF	FDM / FFF	FFF
Precio	5.495€	3.495€	3.299€	A partir de 1.500€	A partir de 1.670€	A partir de 1.250€	A partir de 600€	3.695€
Volumen de plataforma	330 × 240 × 300 mm	197 × 215 × 200 mm	145 × 145 × 185 mm	255 × 155 × 170 mm	295 × 195 × 165 mm	160 × 160 × 180 mm	250 × 210 × 210 mm	420 × 297 × 210 mm
Dimensiones hardware	495 × 585 × 780 mm	342 × 505 × 588 mm	405 × 375 × 530 mm	515 × 400 × 400 mm	530 × 440 × 410 mm	457 × 339 × 607 mm	550 × 400 × 500 mm	550 × 400 × 500 mm
Altura de la capa	20 - 600 µm	20 - 60 µm	25 - 300 µm	50 - 300 µm	100 µm	50 - 400 µm	50 - 400 µm	25 µm
Materiales disponibles	PLA, ABS, Nylon, TPU	PLA, ABS, Nylon, TPU, PETG	Resina estándar, Resina similar a ABS, Resina similar a PP, resina clara, resina a alta temperatura	PLA, ABS, Nylon, PETG	PLA	PLA, ABS, PETG, ASA, Nylon, TPU	PLA, ABS, PETG, ASA, Nylon, TPU	PLA, PVA, PET-G, ABS, PP, PA, TPU
Software	Ultimaker Cura	Ultimaker Cura	Formlabs PreForm	Cura Dremel Edition o cortador en línea	Software de impresión Makerbot	Cura LulzBot Edition	Cualquier software de código abierto	BCN3D Cura
Conexiones	WiFi, Ethernet o USB	WiFi, USB	WiFi, Ethernet o USB	Ethernet, WiFi o USB	Ethernet, WiFi o USB	Tarjeta SD	Tarjeta SD	Tarjeta SD

Fuente: INTECH 3D

Figura 10. Parámetros del motor Nema17

Planetary reducer parameter						Stepper motor parameters	
Nominal reduction ratio	Actual reduction ratio	Series	Reduction box length	Rated allowable load of gear	Allowable instantaneous load of gear	Current	Step angle
			mm	Kgf. cm	Kgf. cm		
3.71	63/17	1	28.5	40	60	1.7A	1.8°
5.18	57/11			40	60		
13.7	3969/289			40	60		
19.2	3591/187	2	38.5	40	60		
27	3249/121			40	60		
51	250047/4913			40	60		
71	226233/3179	3	48.5	40	60		
99	204687/2057			40	60		
139	185193/1331			40	60		
188	15752961/83521	4	58.5	40	80		
264	14252679/54043			40	80		
369	12895281/34969			50	100		
516	11667159/22627			50	100		
721	10556001/14641			50	100		

Fuente: Aliexpress

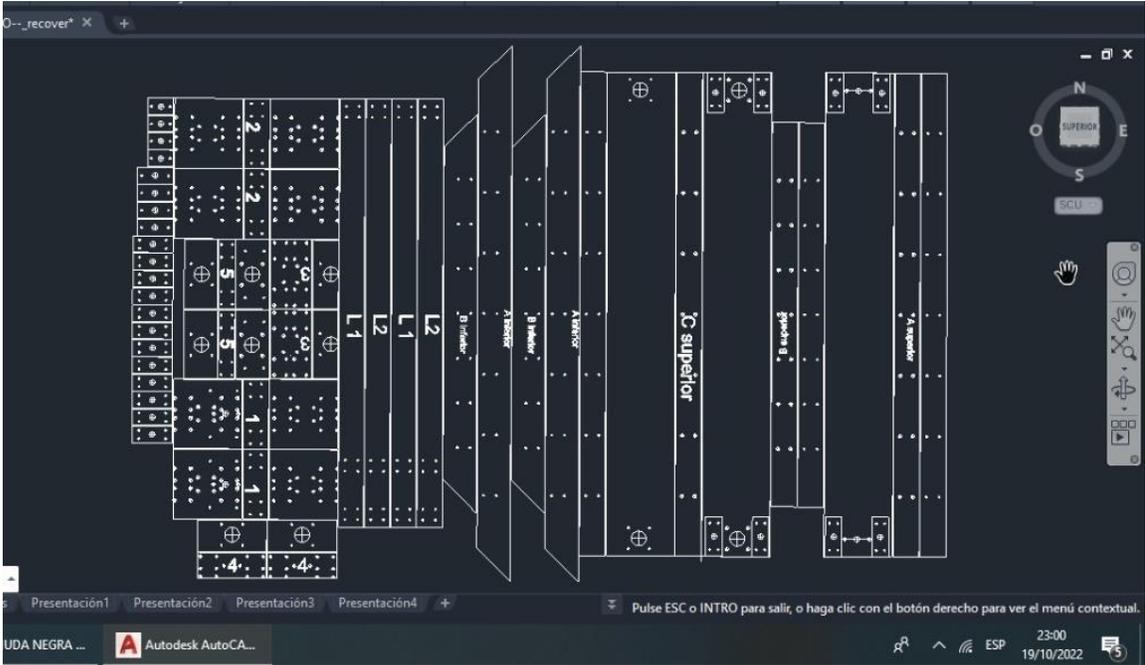
Figura 11. Especificaciones del motor Nema17 SK4234

Model :	Moore 1
Brand :	Tronxy
Building Size :	180*180*180 (mm)
Nozzle Size :	1.0~3.0mm, 2.0mm(Standard)
Feeding mode :	Electric push rod + screw extrusion
Molding Technology :	Liquid Deposition Modeling LDM
Layer thickness :	0.3-3.0mm, 0.5mm(Standard)
Materials :	Clay,Ceramics slurry, Red Porcelain and various liquid flowing materials
Printing Speed :	10-40mm/s , 30mm/s is Preferred
Printing mode :	U disk, TF card, USB data cable
LCD screen :	3.5 inch TFT touch screen
Support file format :	STL, G-Code, Obj

Fuente: Aliexpress

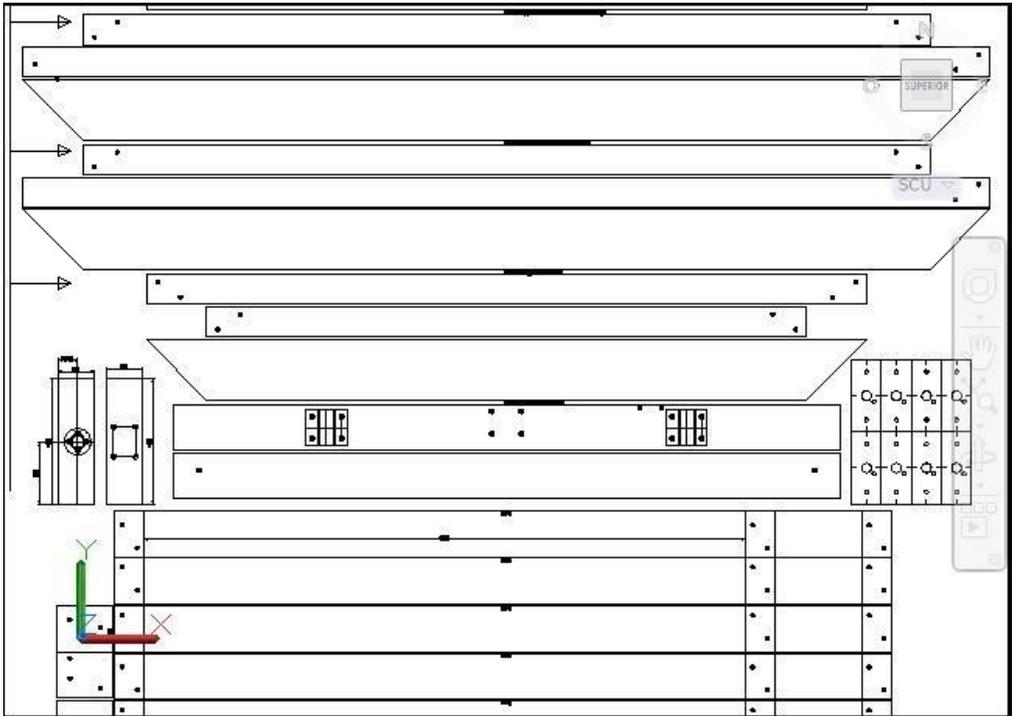
ANEXO 05. Planos del prototipo de impresora 3D

Figura 12. Planos de estructura superior



Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Planos de soporte de eje z



Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Planos de soporte de varillas

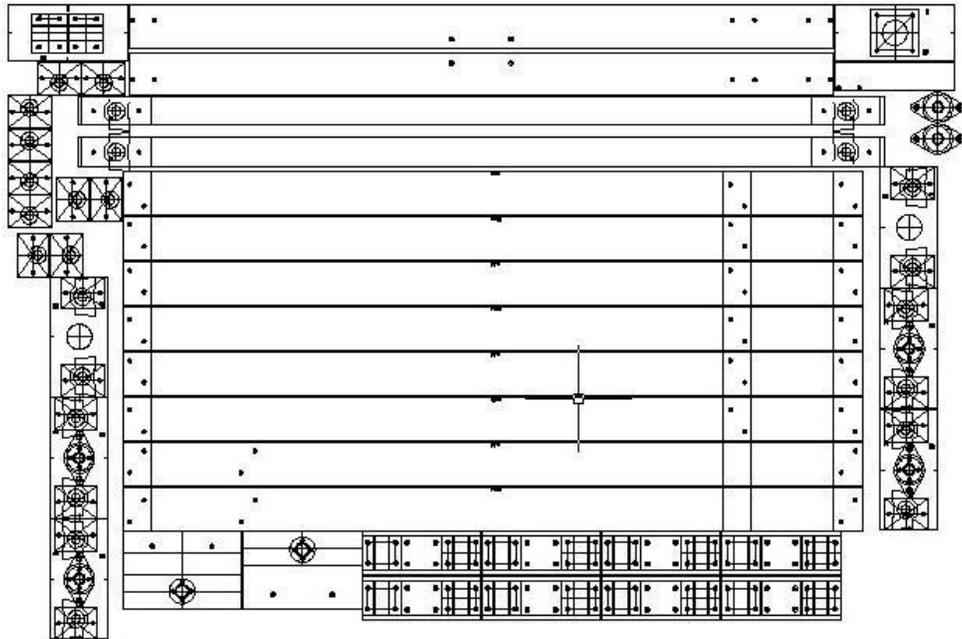
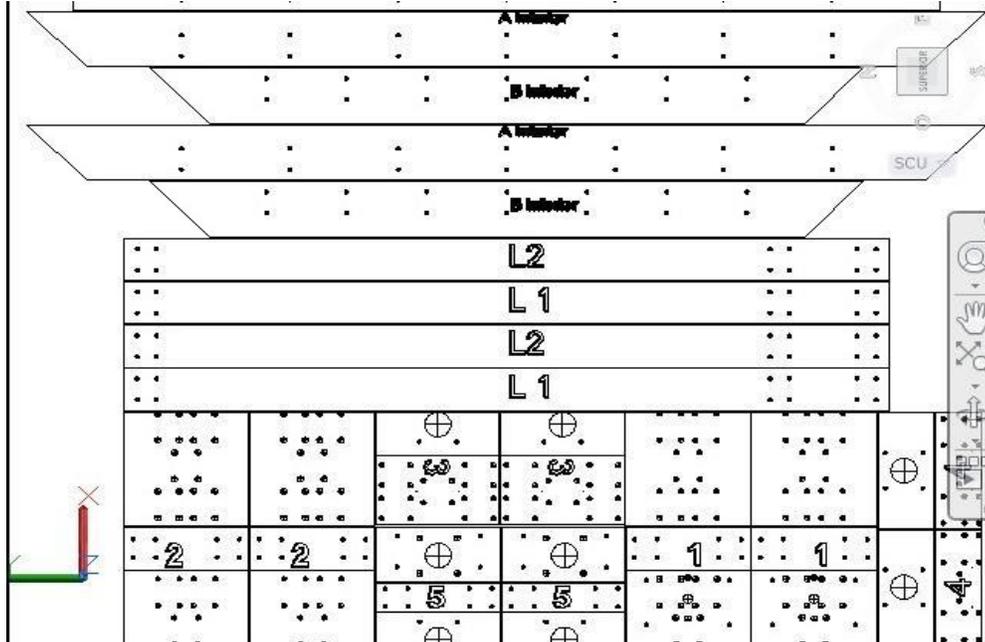
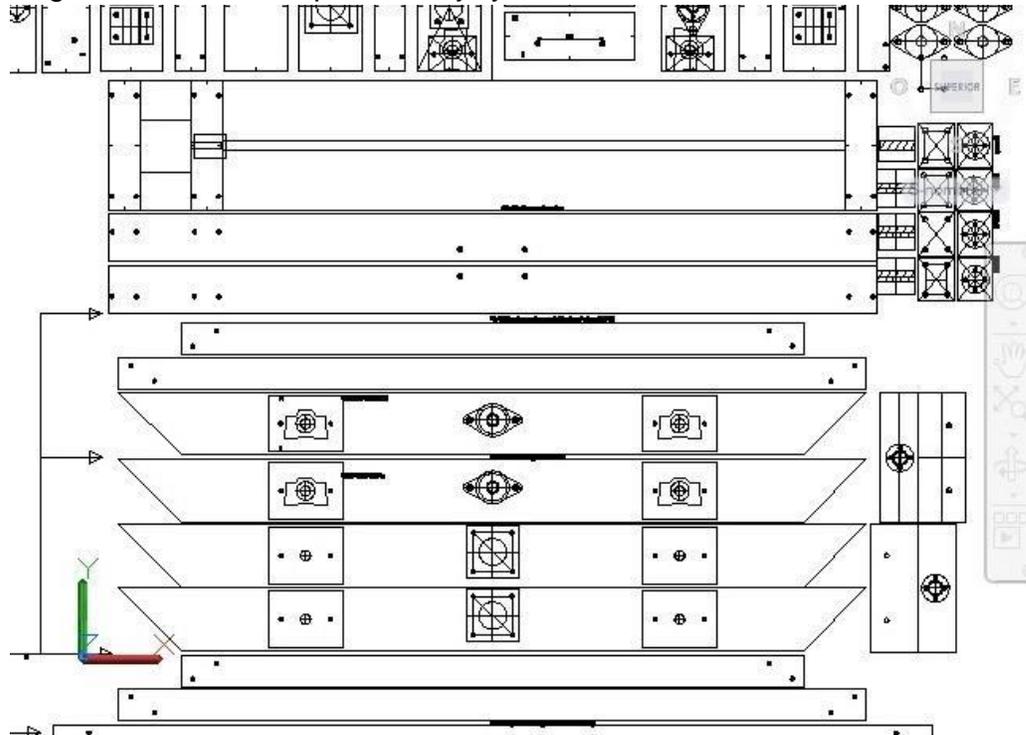


Figura 15. Planos soporte de eje x



Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Planos soporte de eje y



Fuente: Elaboración propia

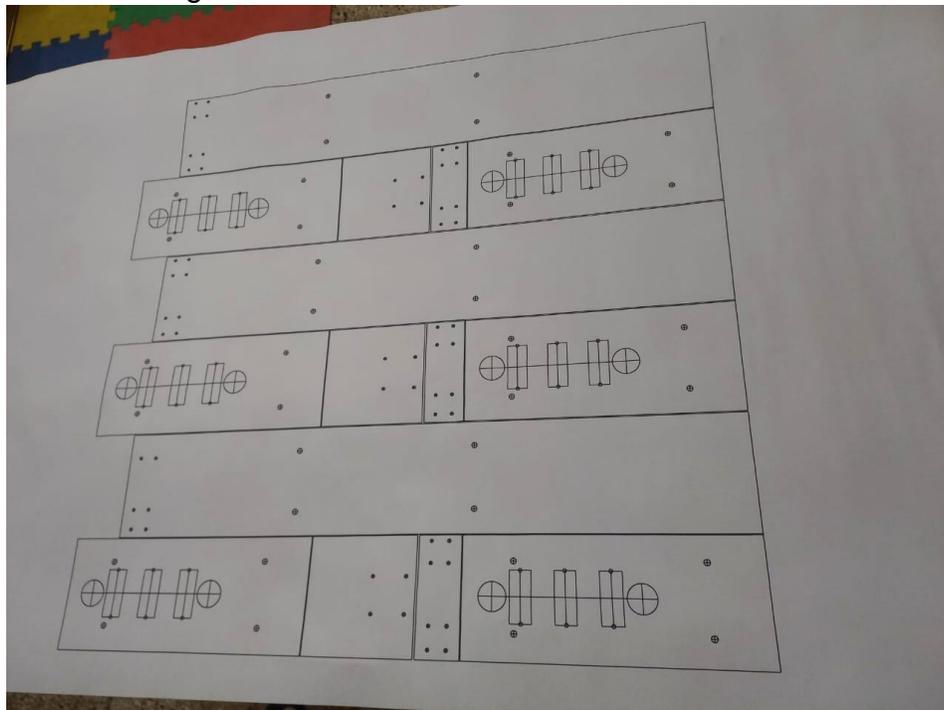
ANEXO 5-a Planos de Extrusor

Figura 17. Corte de plantilla de extrusor



Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Planos de estructura del extrusor



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 06. Elaboración y Observación de impresora 3D

La propuesta planteada es la elaboración de un prototipo de impresora 3D para facilitar el proceso de construcción de viviendas de barro en el distrito de Chalaco como una solución que aborda problemas urgentes como crisis climática, mediante la aplicación tanto de materiales y técnicas ancestrales, como tecnologías novedosas

Estas construcciones realizadas con nuestro prototipo de impresora 3D podrían ser muy baratas y accesibles para ciudadanos comunes, estables, resistentes a la intemperie, adaptable al clima, personalizable, se produce rápidamente, se requiere muy poco trabajo manual ya que es fácilmente aprendido, mitiga las emisiones de carbono del hormigón, se requiere menos energía, entre otros beneficios.

Figura 19 y 20. Corte de planos



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Atornillado de uniones



Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Ensamble de perfiles



Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Ensamble eje X



Fuente: Elaboración propia

Figura 24. Ensamble de eje Y



Fuente: Elaboración propia

Figura 25. Instalación eje XY



Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Soldado de conexiones



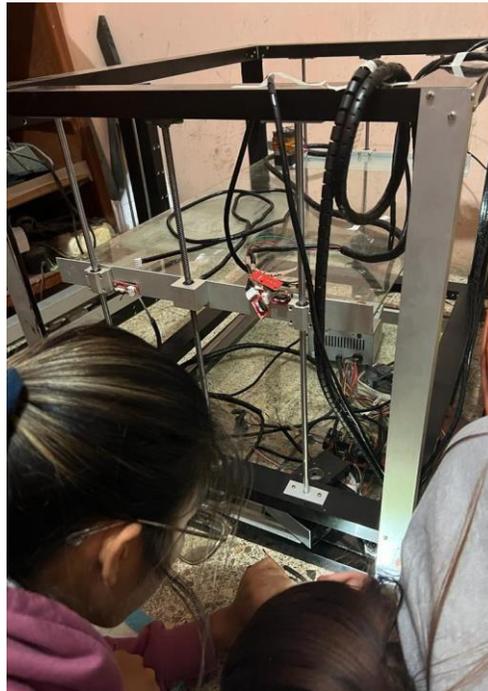
Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Conexión de motores



Fuente: Elaboración propia

Figura 28. Instalación de finales de carrera



Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Prototipo de impresora 3D



Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Pruebas en PLA



Fuente: Elaboración propia

Figura 31 Y 32. Calibración con barro



Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Prueba en Barro



Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Impresión 3D de barro



Fuente: Elaboración propia

Figura 35 y 36. Mediciones de impresión 3D



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 07. Observación y recolección de datos de construcción tradicional

Figura 37. Adobes



Fuente: Elaboración propia

Figura 38 y 39. Medición de los adobes



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 40 y 41. Observación de construcción tradicional



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 42. Observación colaboradores



Fuente: Elaboración propia

Figura 43. Construcción tradicional



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 08. Prueba de resistencia

Figura 44. Prensa de carga mecánica CBR digital



Fuente: Elaboración propia

Figura 45. Unidad de prueba



Fuente: Elaboración propia

Figura 46 y 47. Prueba de resistencia a la compresión



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 47 y 48. Observación de resistencia a la compresión



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 49. Análisis de resistencia



Fuente: Elaboración propia

Figura 50. Resistencia tradicional



Fuente: Elaboración propia



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, BORRERO CARRASCO GABRIEL ERNESTO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA INDUSTRIAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - PIURA, asesor de Tesis titulada: "Elaboración de un prototipo de impresora 3D para la construcción de viviendas de barro en el distrito de Chalaco – Piura, 2022", cuyos autores son VILLEGAS VILLALTA MARIA ALEXANDRA, CORDOVA CORDOVA LUZ CLARITA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 16.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

PIURA, 25 de Noviembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
BORRERO CARRASCO GABRIEL ERNESTO DNI: 03664280 ORCID: 0000-0001-5485-9927	Firmado electrónicamente por: GBORREROC el 29- 11-2022 21:28:36

Código documento Trilce: TRI - 0454583