

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
PROGRAMA EDUCATIVO DE ARQUITECTURA



USO DE IMPRESIÓN 3D COMO INSTRUMENTO DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO.

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
ARQUITECTO

PRESENTA
ANTONIA VENERNADA HOLSWORTH RIOS

Correo electrónico UABC:
vholsworth@uabc.edu.mx
Correo personal:
arq.holsworthve@gmail.com

Director de tesis: Dr. Arq. Marcos Eduardo González Trevizo
Identificador ORCID: orcid.org/0000-0002-1946-3609

Co-Director de tesis: Dr. Francisco Fernández Melchor

Ensenada, Baja California
Mayo 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
PROGRAMA EDUCATIVO DE ARQUITECTURA



USO DE IMPRESIÓN 3D COMO INSTRUMENTO DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO.

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
ARQUITECTO

PRESENTA
ANTONIA VENERNADA HOLSWORTH RIOS.

Correo electrónico UABC:
vholsworth@uabc.edu.mx
Correo personal:
arq.holsworthve@gmail.com

Director de tesis: Dr. Arq. Marcos Eduardo González Trevizo
Identificador ORCID: orcid.org/0000-0002-1946-3609

Co-Director de tesis: Dr. Francisco Fernández Melchor

Ensenada, Baja California
Mayo 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

USO DE LA IMPRESIÓN 3D COMO INSTRUMENTO DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO.

TESIS

PARA CUBRIR LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE

ARQUITECTO

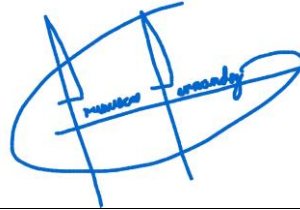
PRESENTA:

ANTONIA VENERANDA HOLSWORTH RÍOS

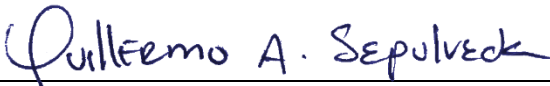
Aprobada por:



Dr. Marcos Eduardo Gonzalez
Trevizo
Director de tesis



Dr. Francisco Fernández Melchor
Codirector de tesis



Arq. Guillermo Antonio Sepúlveda Gil
Sinodal



Arq. Alejandro Candela Modesto
Sinodal



Dr. José Francisco Armendáriz López
Sinodal

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

USO DE LA IMPRESIÓN 3D COMO INSTRUMENTO DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO.

TESIS

PARA CUBRIR LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE

ARQUITECTO

PRESENTA:

ANTONIA VENERANDA HOLSWORTH RÍOS

Aprobada por:

Dr. Marcos Eduardo Gonzalez
Trevizo
Director de tesis

Dr. Francisco Fernández Melchor
Codirector de tesis

Arq. Guillermo Antonio Sepúlveda Gil
Sinodal

Arq. Alejandro Candela Modesto
Sinodal

Dr. José Francisco Armendáriz López
Sinodal

DEDICATORIA

A MIS PADRES

POR SU APOYO INCONDICIONAL Y SU EXTRICTA ENSEÑANZA QUE ME MOTIVA
AVANZAR EN MI DIA A DIA, SIEMPRE DANDO TODO DANDO LO MEJOR DE MI.

AGRADECIMIENTOS

A MI DIRECTOR DE TESIS:

POR DEJARME FORMAR PARTE DE UNA PEQUEÑA RAMA DE SU CONOCIMIENTO.

ERICK GARCIA LÓPEZ:

POR SU COMPAÑÍA Y SU COLABORACIÓN DENTRO ESTE PROYECTO.

RESUMEN

Es evidente que la tecnología de la impresión 3D ha evolucionado dramáticamente y después de 25 años de su desarrollo, su uso principalmente como técnica de aplicación de técnica de prototipado rápido, la industria de impresión 3D se está transformando rápidamente en una empresa centrada en la fabricación. Se sostiene que estas nuevas tecnologías tienen el potencial de crear un nuevo tipo de revolución industrial. (Rocha, 1994)

Con la aparición de prototipados rápidos, los modelos de ayer ya no son adecuados, los materiales tradicionales se han vuelto obsoletos para plasmar las formas complejas de los nuevos planteos arquitectónicos y los diseños se han transformado en abstractos y experimentales. Al reemplazar la fabricación lineal, que imposibilitaba las correcciones durante la ejecución, por un modelo paramétrico que integra el diseño y la producción, se pueden realizar formas complejas, flexibles y adaptables constantemente, bajo un régimen de altísimo rendimiento. Se abren así infinitas posibilidades “para la elaboración de un mar de intensidades de superficie, más grande y continuamente cambiante”. (Fraile, 2014)

Estamos pasando de una producción en masa, heredada del sistema de ensamblaje, a una producción de un conjunto diferenciado de productos flexibles y adaptables en el tiempo, que permiten ser modificados frecuentemente en su fabricación sin bajar con esto la producción. Ya no se piensa en función de una serie o repetición, sino en versiones o variaciones.

En el presente documento se analizará la impresión 3D la cual se ha visto difundida en los últimos años. Constantemente hay noticias resaltando nuevas maravillas de esta tecnología emergente, pero ¿Qué se puede hacer con la impresión 3D exactamente?, ¿Es posible usarla no solo para prototipos, también para producción?

La invención de la impresión 3D apunta a dos objetivos principales: Reducir el tiempo necesario para obtener la primera versión de un producto y eliminar varias restricciones de los métodos de producción tradicionales. Por ejemplo, la impresión tridimensional permite producir geometrías complejas o partes interconectadas sin requerir de ensamblado. También es posible imprimir objetos individuales, así como pequeñas cantidades, rápidamente y a bajo costo. Esta tecnología también ayuda a reducir la pérdida de material de producción. Puede producir diferentes objetos sin la necesidad de usar herramientas específicas o múltiples herramientas. Así como la impresión aumenta la flexibilidad en el flujo de producción y fabricar más rápido. Mientras que los métodos tradicionales de fabricación están orientados a la producción de miles o millones de unidades, La impresión 3D es el método más idóneo para objetos personalizados.

ABSTRACT

It is evident that 3D printing technology has evolved dramatically and after 23 years of its development, its use mainly as a rapid prototyping technique application technique, the 3D industry is rapidly transforming into a manufacturing focused company. These new technologies are held to have the potential to create a new type of industrial revolution. With the appearance of rapid prototypes, the models of yesterday and are not suitable, traditional materials have become obsolete to capture the complex forms of new architectural approaches and designs have become abstract and experimental. By replacing linear manufacturing focused company. These new technologies are held to have the potential to create a new type of industrial revolution. With the appearance of rapid prototypes, the models of yesterday and are not suitable, traditional materials have become obsolete to capture the complex forms of new architectural approaches and designs have become abstract and experimental. By replacing linear manufacturing, which makes correction during execution impossible, with a parametric model that integrates design and production, complex, flexible and adaptable shapes can be made constantly, under a high-performance regime. Thus, infinite possibilities are opened “for the elaboration of a sea of intensities of surface, larger and continually changing”

This document will analyze 3D printing, which has been widespread in recent years. There is constantly news highlighting new wonders of the emerging technology, but what exactly can be done this 3D printing? Is it possible to use it not only for prototyping, but also for production? The invention of 3D printing aims at two main objectives: to reduce the time required to obtain the first version of a product and to remove various restrictions from traditional production methods. For example, three-dimensional printing allows complex geometries or interconnected parts to be produced without requiring assembly. It is also possible to print individual objects, as well as small quantities, quickly and cheaply. This technology also helps reduce loss of production material. You can produce different objects without the need to use specific tools or multiple tools. Just as printing increases flexibility in production flow and faster manufacturer. While traditional manufacturing methods are geared

towards producing miles or millions of units, 3D printing is the most ideal method for custom objects.

INDICE	
DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	IX
INDICE	XI
LISTA DE FIGURAS	XIII
LISTA DE TABLAS	XV
INTRODUCCIÓN	1
1. CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.1. Problemática	7
1.2. Objeto de estudio	7
1.3. Objetivos	8
1.3.1. General	8
1.3.2. Específicos	8
1.4. Hipótesis	8
1.5. Metodología	8
1.6. Referentes geográficos	9
2.1 Marco teórico	15
2.2 Estado del Arte	19
3.1. Diagnostico	28
3.1.1 Espacio No Visual.	31
3.1.2 Clima	33
3.1.3.Asoleamiento	34
3.4.1 Análisis Climático	40
2. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE TECNOLOGIAS	41

4.1. Tecnologías	41
4.1.1 Modelados de impresión	41
1. 4.1.1 Materiales	47
2. 4.1.2 Softwares	59
3. 4.1.1.1 Meshmixer	61
4. 4.1.1.2 3DP ROCK	67
5. 4.1.1.3 Prusa Slicer	72
6. 4.1.1.3.1 Proceso de impresión	73
 CAPÍTULO V. IMPRESIÓN EN 3D COMO INSTRUMENTO DE DISEÑO ARQUITECTONICO	 84
7. 5.1 Impresiones 3D de geometrías complejas	84
 CONCLUSIONES	 93
 BIBLIOGRAFÍA	 95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Puente fabricado por la empresa MX3D en Ámsterdam. Adrián de Groot.....	2
Figura 2. Método del proceso de impresión en 3D José Enrique López Conde	4
Figura 3. Elaboración propia en base a Google Earth, 2019 (Elaboración propia).....	10
Figura 4. El proceso de la impresión tridimensional. Saudagar, 2019	14
Figura 5. The TetraScript Pavilion Concept, Controlled Parametrically. (Fuente: Parametric design and daylighting: A literature review)	20
Figura 6. Evaluación del proceso de la radiación. (Fuente: Journal of Asian Architecture and Building Engineering).....	20
Figura 7. Resultado de sombreado en 2 diferentes estaciones del año. (Fuente: BIM-based PV system optimization and deployment.).....	21
Figura 8. Modelo de métodos de análisis A verification study for energy analysis of BIPV buildings with BIM Hang-Jung	22
Figura 9. Geometrías complejas, impresas en 3D (Fuente: Experimental Optimization of Fused Deposition Modelling Processing Parameters: a Design-for-Manufacturing Approach)	23
Figura 10. Casa impresa por WINSUN (Fuente:Demonstrating the Viability of 3D Printing at Construction Scale).....	24
Figura 11. Funcionamiento del diseño de malla y modulaciones. (Fuente: Performative skins for passive climatic comfort A parametric design process).....	25
Figura 12. Metodología de la investigación. (Elaboración propia,2019).....	27
Figura 13. Elaboración propia en base a Google Maps,2019	28
Figura 14: Vista Sur	29
Figura 15. Vista Este	30
Figura 16. Vista Oeste.....	30
Figura 17. Vista Norte.....	31
Figura 18. Paleta de materiales constructivo en la zona. (Elaboración propia)	32
Figura 19. Paleta de composición cromática. (Elaboración propia)	33
Figura 20. Ángulos que el asolamiento un 20 de marzo del 2019 a las 8:05 am, con un azimut de 108.70 °y una altitud de 27.37° y con luz de 12:08 horas. (Software: Andrew Marsh)	35
Figura 21. Ángulos que el asolamiento un 20 de junio del 2019 a las 3:00 pm, con un azimut de -83.97 °y una altitud de 38.49° y con luz de 14:14 horas. (Software: Andrew Marsh)	36
Figura 22. Ángulos que el asolamiento un 20 de marzo del 2019 a las 8:00 am, con un azimut de -175.50 °y una altitud de 34.67° y con luz de 10:04 horas. (Software: Andrew Marsh)	37
Figura 23. Ilustración del método de extracción del filamento. (Manual de impresión en 3D).....	41
Figura 24. Impresora Cartesiana. (Basics of printing 3D)	42
Figura 25. Impresora Delta 3D. (Basics of printing 3D)	43
Figura 26. Impresora Polar. (Basics of printing 3D).....	43
Figura 27. Prusa i3 MK3S. (Manual prusa)	45
Figura 28. Descripción de la impresora Prusa i3 MK3S original. (Manual de impresion 3D).....	46
Figura 29. Kit de impresión Manual de prusa	47
Figura 30. Estructura de los diferentes polímeros	48
Figura 31. Ejemplo de filamento PLA.....	49
Figura 32. Ejemplo de filamento ABS.....	50
Figura 33. Ejemplo de filamento PETG.....	51
Figura 34. Ejemplo de filamento TPE.....	52

Figura 35. Ejemplo de filamento Nylon.....	53
Figura 36. Bibliotecas online.....	60
Figura 37. Analisis de inspector en Meshmixer.....	62
Figura 38. Dimensiones en Meshmixer.....	62
Figura 39. Malla y angulos en meshmixer	63
Figura 40. Grosos en Meshmixer	64
Figura 41. Debilidad en el modelo en meshmixer.....	64
Figura 42. Estabilidad de un objeto en meshmixer.....	65
Figura 43. Estabilidad de un objeto en meshmixer.....	65
Figura 44. Rediseñar en Meshmixer	66
Figura 45. Soportes en Meshmixer	66
Figura 46. Capas en Meshmixer.....	67
Figura 47. Creador de litofanía en 3Drock.....	68
Figura 48. Proceso de creación	68
Figura 49. Proceso de configuración de litofanía	69
Figura 50. Listado de softwares CAD	70
Figura 51. Listado de softwares CAM	71
Figura 52. Configuración de impresión en PrusaSlicer.....	73
Figura 53. Tipo de vistas en PrusaSlicer.....	74
Figura 54. Proceso de agilización de impresión.....	75
Figura 55. Capas y perímetros en PrusaSlicer.....	75
Figura 56. Configuración de rellenos	76
Figura 57. Configuración del extrusor.....	76
Figura 58. Velocidad en la impresión.....	77
Figura 59. Configuración de temperatura para la impresión.....	77
Figura 60. Exportación a Código G.....	78
Figura 61. Posicionamiento de impresora.	78
Figura 62. Nivelación de ejes	79
Figura 63. Extrusor nivelador la cama de la impresora	80
Figura 64. Verificación de P.I.N.D.A.....	80
Figura 65. Calibración de P.I.N.D.A de manera manual por medio de una hoja blanca.....	81
Figura 66. Requisitos antes de una impresión	82
Figura 67. Comprobación de ajustes de P.I.N.D.A. (Elaboración propia).....	83
Figura 68. Resultado del uso de diseño paramétrico e impresión en 3D	85
Figura 69. Resultado del uso de diseño paramétrico e impresion 3D	85
Figura 70. Resultado del uso de diseño paramétrico e impresión en 3D	86
Figura 71. Resultado del uso de diseño paramétrico e impresión 3D.....	87
Figura 72. Resultado de diseño paramétrico e impresión en 3D	88
Figura 73. Render de la ubicación de la geometría	89
Figura 74. Resultado de la impresión	90
Figura 75. Render del modelo interior y exterior.....	91
Figura 76. Resultado en impresión en 3D	91
Figura 77. Renders de Litofanía en el modelo.....	92
Figura 78. Resultado en impresión en 3D con un post-acabado.....	92

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Temperatura máxima en color rojo, la media naranja, media baja en verde y mínima en azul claro. (Software: Andrew Marsh).....	34
Tabla 2. Muestra el número mensual de los días de sol, en parte nublado, despejado y precipitaciones. Los días con de 20% de cubierta de nubes se considera como días soleados, con 20-80 % de cubierta se nubes como parcialmente nublado y más de 80% nublados. (Meteornom)	38
Tabla 3 y 4. Muestra la distribucion de la precipitación media anual en el acuífero Guadalupe. (Meteoblue).....	39
Tabla 4. Muestra por mes, durante los cuales el viento alcanza su máxima velocidad. (Software: Andre Marsh).....	39
Tabla 5. Clasificación de filamentos	55

INTRODUCCIÓN

La familia francesa de Nordine y Nouria Ramdani, se convirtió en la primera en el mundo en habitar una casa-habitación de impresión tridimensional; el prototipo de 95 m², impresión a base de concreto y poliuretano, 54 horas de duración y un costo de alrededor de 176,000 libras esterlinas fue auspiciada de manera tripartita por el Consejo de vivienda, la Universidad de Nantes y el Consejo de la misma ciudad como resultado del trabajo común de académicos, científicos y constructores (Cowan, 2018). En palabras de Francky Trichet, el dirigente del Consejo, durante 2,000 años no había existido un cambio en el paradigma del proceso de construcción.

En efecto, desde la 1ª Revolución Industrial gestada como proceso de transformación económica, social y tecnológica en la segunda mitad del siglo XVIII, y hasta la cuarta revolución industrial que según Klaus Schwab fundador del Foro Económico Mundial ha llevado a la sociedad moderna de la mecanización, la producción en masa y la automatización computarizada a los sistemas ciber físicos, la industria de la construcción había permanecido aletargada con un pobre desempeño en términos productivos (Foro Economico Mundial, 2016).

Si bien, la casa habitada por la familia Ramdani tiene un antecedente holandés conocido como el “*3D Print Canal House*”, un robusto edificio de un imbricado sistema de bloques de plástico rellenos de concreto ligero, que en 2014 abrió sus puertas al público en la ciudad de Ámsterdam como producto de la participación del reconocido despacho *Dus Architects*, que utilizó una versión de grandes dimensiones de una impresora en 3D llamada KameMaker que podía producir un material 10 veces más grueso de lo habitual (The Guardian, 2014). No fue sino hasta cuatro años más tarde, en julio de 2018, que Nordine y Nouria se mudarían como parte de un ambicioso programa francés de vivienda de bajo costo.

En otras latitudes, la empresa MX3D a través del ingeniero estructural en jefe Joris Laarman diseñó el primer puente peatonal de impresión metálica para Gemeente Amsterdam, que gracias al trabajo colaborativo, la experiencia metalúrgica de ArcelorMittal, el conocimiento en herramientas de producción digital de Autodesk®,

la habilitación en construcción de Heijmans, el soporte hardware computacional de Lenovo®, los conocimientos de robótica de ABB Group y la asistencia de Air Liquide & Oerlikon en cuanto a soldadura permitirá su instalación este mismo año, después de cuatro años del proceso de diseño, impresión y pruebas estructurales al que fue sujeto (MX3D Group, 2019).

Figura 1. Puente fabricado por la empresa MX3D en Ámsterdam.
Adrián de Groot



Los ejemplos anteriores, forman parte de una corriente tecnológica denominada *Construction 3D Printing (c3Dp)* o *3D Construction Printing (3DCP)* que permite la exploración de geometrías complejas y se sirve de sistemas de construcción robótica o manufactura aditiva de gran escala conocida como LSAM¹ encuentra sus primeros vestigios en la década de los 50's con la aparición del concreto bombeado y espumas de isocianato en torno a la albañilería robótica (Papanek, 2005).

Aunque estrictamente hablando, la impresión 3D es un proceso de manufactura aditiva para producir objetos sólidos tridimensionales a partir de un modelo digital (Bogue, 2013) y en la actualidad, esta llamada por algunos "Construcción 4.0" tiene un robusto trasfondo tecnológico; fue parte de un proceso histórico que migró del prototipado rápido de pequeñas componentes de construcción, al desarrollo de la primera impresora 3D, que empleaba el uso de resinas fotosensibles al UV para la

¹ *Large scale Additive Manufacturing* por sus siglas en ingles.

impresión estereolitografía conocida en la actualidad como SLA², que fue desarrollada por Charles Hull en 1986.

Al anterior, le siguió el Método de Modelado de Deposición Fundida (FDM³) que emplea polímeros y piedra sintética, hasta llegar al proceso de impresión en polvo de inyección que usa aglutinantes para unir capas sucesivas de polvo -incluso metálico- o el más sofisticado de Sinterización Selectiva por Láser (SLS⁴) que dio pie a la aparición del Sistema de impresión con cabezales robóticos en bastidores de desplazamiento cartesiano más popular, llamado Sistema Gantry (Wu et al., 2016). Este último sistema modular que cobró popularidad en 2008, se basaba en el desplazamiento axial sobre estructuras de gran escala, lo que permitió la impresión de elementos monumentales con concreto premezclado, siguiendo los métodos de impresión con morteros cemento-arena o de extrusión de elementos cerámicos desarrollados en los noventas por Joseph Pegna (Gardiner, 2011).

² *Stereolithography* por sus siglas en inglés.

³ *Fused Deposition Modeling* por sus siglas en inglés.

⁴ *Selective laser sintering* por sus siglas en inglés.

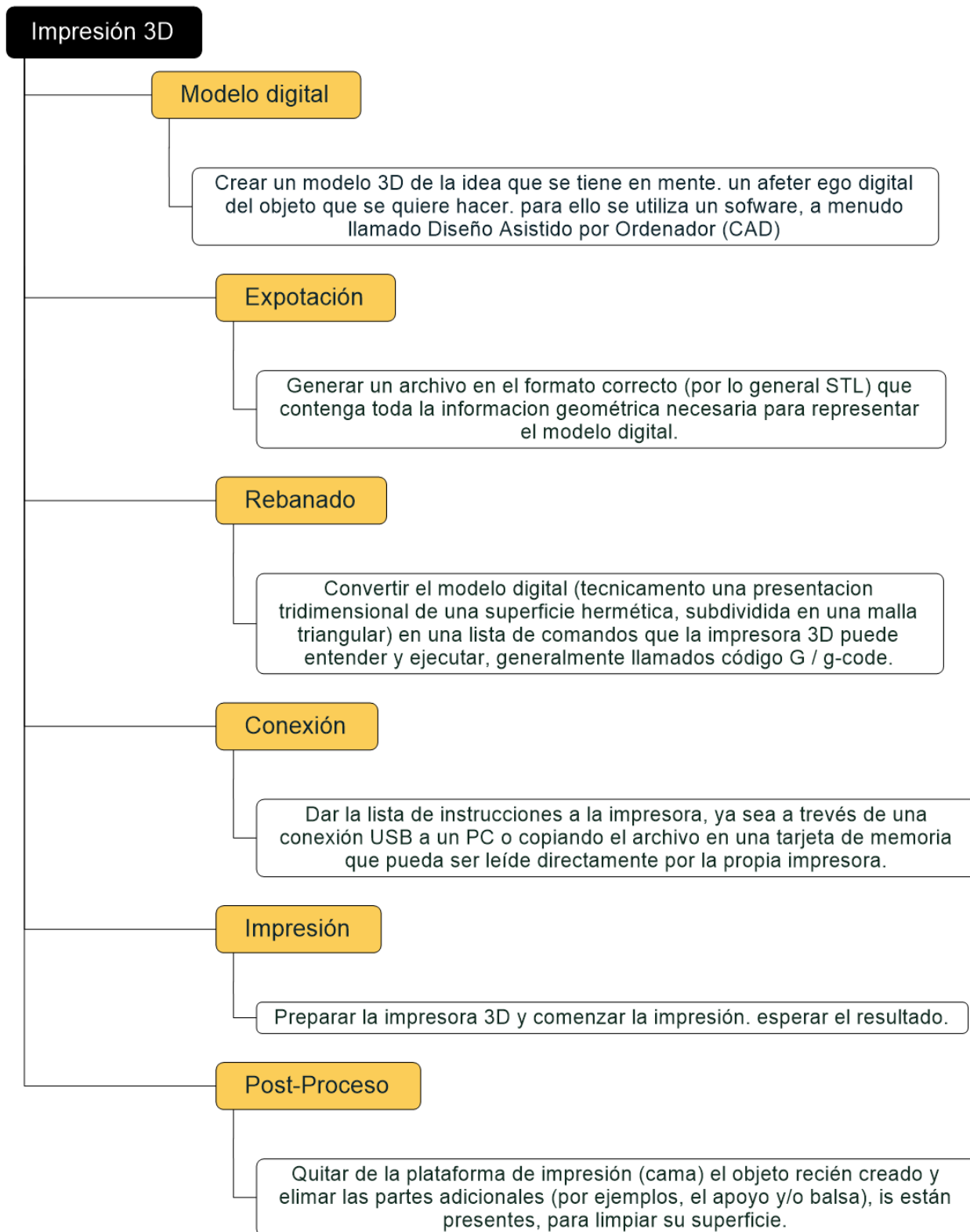


Figura 2.Método del proceso de impresión en 3D
José Enrique López Conde

En términos simples, la fabricación aditiva o impresión 3D consiste en la fabricación de componentes a partir de un modelo 3D, sin necesidad de moldes de ningún tipo, mediante la deposición de capas de material y su posterior consolidación, a través de diferentes métodos. Dentro de los sectores de aplicación destaca el de moldes y matrices industriales, medicina ortopédica, ingenierías diversas y por supuesto una de sus ventajas más notables, la arquitectura que incorpora diseño paramétrico o con geometrías curvas y base racional no uniforme conocido como NURBS⁵. Las tecnologías de impresión más usadas hablan del material que se utiliza en ella, cada una con características ligadas a la estructura de la impresora (R3ALD©, 2019), destacan el procesamiento digital de luz (DLP⁶), la fusión por haz de electrones (EBM⁷), la fabricación mediante laminado de objetos (LOM⁸), la Inyección de aglutinante (BJ⁹) y la inyección de material (MJ¹⁰).

La aparición de estas tecnologías de impresión representa una irrupción en el paradigma del sector del diseño, tanto para sistemas tradicionales y robustos, como para aquellos de formas desafiantes, ligeras y autosoportadas. Diversos grupos de trabajo han abordado experimentalmente aspectos diversos de viabilidad en cuanto a la transición de la impresión 3D con modelos a escala, a la impresión a tamaño completo en la construcción, así como para procesos de diseño integrado en edificios de fabricación digital denominado "*Integrated design in case of digital fabricated buildings*" (Tibaut et al., 2016).

Si bien, la impresión 3D, como proceso de producción aditiva y manufactura automatizada de capa por capa, es una tecnología prometedora que puede ser utilizada por la industria de la construcción para lograr beneficios económicos y ambientales, es aún, como tecnología de construcción masiva, un proyecto de utopía para las grandes urbes, pues se encuentra en una etapa aún en ciernes.

⁵ *Non-uniform rational basis spline* por su definición en inglés

⁶ *Digital Light Processing* por su definición en inglés.

⁷ *Electron Beam Fusión* por su definición en inglés.

⁸ *Laminated Object Manufacturing* por su definición en inglés.

⁹ *Binder Jetting* por su definición en inglés.

¹⁰ *Injection Molds* por su definición en inglés.

Josef Prusa (nacido el 23 de febrero de 1990) se comenzó a interesar en el fenómeno de la impresión 3D antes de comenzar a estudiar Economía en la Universidad de Praga en 2009, primero fue una afición, una nueva tecnología abierta a cambios y mejoras. Pero la afición pronto se convirtió en una pasión y Josef pasó a ser uno de los desarrolladores principales del proyecto internacional de código abierto de Adrien Boyer denominado proyecto RepRap. Hoy se puede ver el diseño Prusa en sus diferentes versiones por todo el mundo. Es una de las impresoras más populares y gracias a ello, el conocimiento del público sobre la tecnología de impresión 3D se ha incrementado notablemente.

El trabajo de Josef en impresoras autoreplicables continúa creciendo y actualmente, la Prusa i3 MK3S es la tercera iteración de la impresora 3D original. Se está actualizando constantemente con las últimas innovaciones de impresión. Además de las mejoras en la impresora, el objetivo principal es hacer la tecnología más accesible y comprensible para todos los usuarios.

En la Arquitectura y el diseño la impresión 3D resulta practica en una profesión en la que es esencial la propuesta de maquetas y determinadas estructuras, esta herramienta multidisciplinar facilitara la materialización de una amplia variedad de prototipos y la ejecución de un objeto con características peculiares. Aportando la rapidez de la fabricación. Es decir, el prueba-error- resulta de bajo costo que los otros métodos tradicionales y también una reducción de gran parte de los residuos generados.

Por otra parte, las impresoras de gran tamaño han sido modificadas al grado de extruir cemento húmedo. Haciendo posible las impresiones de barrios enteros rápidamente. Esta posibilidad de construir edificios eficientes y baratos, considerando que este avance pueda ser de gran impacto en el área de la arquitectura.

Capítulo I.

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problemática

La arquitectura ha sido una de las disciplinas inherentes a la construcción más determinantes de la historia; de principios artesanales y altas responsabilidades técnicas, ha entrañado siempre la necesidad del uso de lenguajes de representación bidimensionales y tridimensionales sofisticados para la proyección y modelado de obras conceptuales de muy variada valoración estética. No obstante; la pérdida de tiempo dedicada al modelado y representación arquitectónica como parte de cualquier método de diseño, es uno de los problemas que más ha limitado el desarrollo en el horizonte creativo, ha propiciado el dispendio económico en el ejercicio constructivo; por una parte, con el excesivo uso de materiales e inexactitudes de representación en los modelos de complejidad geométrica.

Anteriormente, las funcionalidades del diseño aditivo utilizado en otras áreas del conocimiento se ponían a prueba en el ámbito de la arquitectura, pero es un paradigma que ha cambiado en la última década con la aparición del *RepRap Project*¹¹, una iniciativa de la *British University* que utiliza la técnica de Fabricación de filamentos fundidos (FFF) en impresoras autoreplicables de bajo costo (Jones et al., 2011). Así pues, el presente documento, aborda las limitantes e incertidumbres formales en el proceso de diseño, que derivan del uso de técnicas tradicionales de modelado y representación a escala ante el desafío de geometrías complejas presentes en las corrientes actuales de la arquitectura.

1.2. Objeto de estudio

El uso de la impresión 3D como herramienta de modelado y representación en la arquitectura con el propósito de impulsar el horizonte creativo del diseño arquitectónico a través de la apropiada representación de geometrías complejas basadas en NURBS y diseño paramétrico. A destacar:

¹¹ De las siglas en ingles *replicating rapid prototyper*

1.3. Objetivos

1.3.1. General

El presente estudio aborda una propuesta para la exploración de las posibilidades que ofrece la impresión 3D en el diseño arquitectónico de formas complejas, es decir: explorar los alcances que ofrece el uso de la impresión 3D con respecto a los métodos tradicionales de diseño y representación bidimensional/tridimensional.

1.3.2. Específicos

- Superar las limitantes de la geometría de representación bidimensional en el proceso del diseño arquitectónico.
- Explorar las posibilidades de aprovechamiento de la impresión 3D en el diseño arquitectónico basado en NURBS, geometrías con cualidades de flexibilidad y precisión para describir cualquier superficie orgánica de forma libre.
- Desarrollar el prototipado de un elemento arquitectónico basado en el uso de editores gráficos de algoritmos como unidad de muestra.
- Incorporar el elemento arquitectónico en un caso de estudio a fin de proveer un análisis del contexto para el prototipo.

1.4. Hipótesis

La impresión tridimensional en cualquiera de sus variedades ofrece garantías técnicas de representación a escala de modelos complejos que son inigualables por las técnicas tradicionales de maquetado existentes.

1.5. Metodología

La presente investigación deriva de un proyecto arquitectónico denominado convento con capilla Abad, el cual se desglosa en la ubicación de la propuesta, su historia y antecedentes en la ciudad de Ensenada Baja California en la cual se ubica el ejido seleccionado llamado el porvenir para la construcción del proyecto y el

impacto que hará en la zona en este caso agrícola con gran auge en los eventos sociales y vinicultores. Desarrollando diferentes métodos los cuales arrojarán porcentajes que se tomarán en cuenta para la continuidad del proyecto y que sea apto para la zona.

Para analizar la problemática que se tenían en ciertos aspectos en la zona, se enfatizó en la investigación de la carencia de dicha institución religiosa y su ajeno conocimiento. Dadas las respuestas a los métodos se dio a conocer que la zona era apta para elaboración a cumplir con especificaciones que a la evolución del proyecto se solucionaron;

- 1) Aspectos sustentables
- 2) Intervención en zonas naturales
- 3) Plan maestro
- 4) Adaptación al entorno
- 5) Normatividad

Esto nos dio pie a trabajar para cumplir con ciertas características que formarían parte del diseño del edificio religioso, tomando en cuenta cada uno de ellos se buscaba solucionar la problemática y unificar el entorno, sus acontecimientos, su manera de vivir en la zona rural. Que todo aquello lo cual fuéramos a construir sería de ayuda a la comunidad y sobre todo darlo a conocer, desde el punto de vista hacia el usuario, que este se apropiara del espacio, formara parte de la naturaleza y se creara un vínculo en el cual la comunidad tuviera un espacio para sus eventos y sus creencias, sobre todo el hecho de colaborar a la zona.

1.6. Referentes geográficos

El estado de Baja California está ubicado en el noroeste del país y ocupa la porción norte de la península del mismo nombre. Sus coordenadas extremas son: 32° 43' y 28° 00' de latitud norte, 112° 47' y 117° 07' de longitud oeste. Limita al norte con los Estados Unidos de América, Sonora y el Golfo de California; al este con el Golfo de California; al sur con Baja California Sur y el Océano Pacífico y al oeste con el Océano Pacífico. El estado cuenta con una superficie de 71 546 km² lo que

representa 3.6% del total nacional y es la undécima entidad más extensa del país. Se divide en cinco municipios: Mexicali, Tijuana, Tecate, Ensenada y Rosarito.

El municipio de Ensenada tiene una extensión territorial de 52 510,71 km², se localiza en las coordenadas 28° 00' 00" - 32° 12' 10" de latitud norte y 115° 22' 50" - 116° 53' 03" de longitud oeste; limita al norte con los municipios de Playas de Rosarito, Tijuana y Tecate; al noreste con el municipio de Mexicali, al este con el Golfo de California; al oeste con el Océano Pacífico; y al sur con el estado de Baja California Sur y en su división política comprende 23 delegaciones municipales.

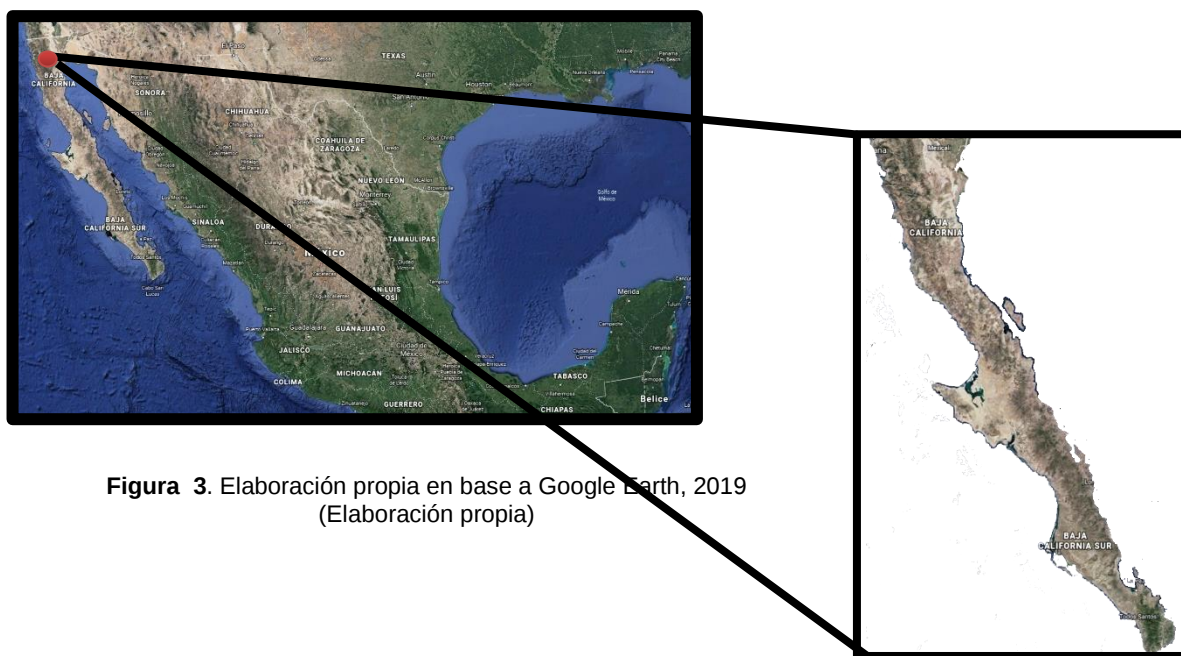


Figura 3. Elaboración propia en base a Google Earth, 2019
(Elaboración propia)

Capítulo II.

ANTECEDENTES

El inicio de la impresión 3D se remonta a 1976, cuando se inventó la impresora de inyección de tinta, pero no fue hasta 8 años después en 1984, cuando Charles Hull, el padre de la impresión en tercera dimensión inventa la estereolitografía (SLA); tecnología láser que emplea una resina líquida sensible a la luz ultravioleta para crear modelos en 3D. No fue sino hasta 1986, cuando decide patentar su invento y crea la empresa *3D Systems*, la cual desarrolla software de interoperabilidad que el objeto tridimensional al imprimir se cree a partir de modelos digitales (Gebisa & Lemu, 2019).

En 1984 se hace por primera vez la mención sobre la impresión 3D o *manufactura aditiva* como es llamada en algunos campos del conocimiento, después de un antecedente en lo bidimensional que en comparación al 3D es un grupo de tecnologías de fabricación que, partiendo de un modelo tridimensional digital, permiten manipular de manera automática distintos materiales y construyendo capas sucesivamente de forma muy precisa para construir un objeto en tres dimensiones (Matus, 2018).

El diseño paramétrico se basa en algoritmos; procedimiento utilizado para realizar una tarea particular para lidiar con problemas de diseño, a través de una lista finita de instrucciones básicas y correctamente definidas (Khabazi, 2010).

Paralelamente este tipo de diseño asociativo de formas complejos basado en modelos empíricos de ensayo, al igual que la impresión en 3D y los softwares. Lo que se obtenía era mediante exhaustivos intentos, inversiones y minuciosos cambios hasta obtener el resultado final previo a mejoras en cuanto la elaboración del proyecto o las impresiones.

Casi simultáneamente, Maurice Ruiter usó por primera vez el termino *parametric design* en 1988; después, la compañía de Samuel Gaisbeg lanza el primer software de modelado paramétrico, haciendo una aportación en los años de mayor impacto en los términos del modelado digital, debido al auge que se tenía y a las diferentes

técnicas obtenidas por diferentes matemáticos, ingenieros y arquitectos. El mismo año, S.Scott Crump y Lora Crup patenta la tecnología de impresión FDM¹² de piezas termoplásticas resistentes, duraderas y con mayor precisión donde fundan *Stratasys*, que actualmente es una de las compañías más importantes del sector profesional de impresoras 3D. Así pues, fue en los 80's el período clave para la historia de la impresión 3D, ampliamente desarrollada en base a la investigación experimental.

Fue en 1990, donde el uso de las impresoras se expandió a diferentes sectores profesionales, misma década en la que aparecen nuevas tecnologías, las cuales se unieron para crear *Z-Corporation*, *ARCAM* y *Object Geometries*, pero un suceso significativo se da en 1992, cuando miembros de AGLib, la primera librería comercial de NURBS en colaboración con *McNeel Associates* desarrolla a partir de un modelador de mallas para prototipado llamado *Sculptura*; que se construyó la herramienta *Accumodel* de modelado NURBS para AutoCAD (McNeel Associates, 2019), con el paso del tiempo se convertiría en Rhinoceros 3D, el modelador tridimensional más influyente del mundo.

Cabe mencionar que en el mismo año en el cual las empresas líderes en la impresión en 3D salían al mercado con nuevas propuestas de impresoras, es cuando Robert Stiles sostiene que la parametrización viene de los escritos de los arquitectos Luis Moretti en la década de 1940, con su claro ejemplo de un estadio, el cual se determinaba a través de 19 parámetros que los aspectos como los ángulos de visión, el costo, el material y el funcionamiento se podían mejorar con el uso de los softwares, tal como demostró Charles Hull cuando patentó su impresora. (Daniel Davis, 2013)

Es así como el uso de diferentes ordenadores y sus respectivas plataformas de software y aplicaciones se hizo indispensable; en el ámbito del diseño, modelado y prototipado en la práctica de la arquitectura, ha llegado a ser cuestionada la

¹² Fused Deposition Modeling por sus siglas en inglés

creciente dependencia de los usuarios ante estas técnicas en comparación con el bocetaje, que ha perdido hegemonía en la concepción y proyección arquitectónica.

Así, en el 2005, sale a la luz Spectrum Z510 que fue la primera impresora capaz de fabricar objetos directamente en colores. En el 2006 aparece la primera impresora en 3D SLS comercial (Berchon & Luyt, 2014).

El siguiente paso importante, fue en 2009 donde surge Makerbot® Industries con la idea de poner en el mercado un Kit de impresión 3D que pudiera ser ensamblado por cualquier usuario sin conocimiento previo. Makerbot®, es fundada, en Nueva York, por Bre Pettis, Adam Mayer, y Zach Smith (Paniagua, 2013).

A lo largo de estos 10 años aproximadamente, los constructores fueron creando otros modelos, mejorando y desarrollando nuevos procesos. Las impresoras 3D y el modelado de NURBS fueron siendo cada vez más utilizadas para la incorporación de componentes parametrizables y el prototipado rápido.

En 2010, AutoCAD® se encargó de actualizar sus plataformas, añadir funciones paramétricas y tras años de desarrollo, se lanzó *Revit Technology Corporation* que fue entonces, el software que aspiraba a crear el primer modelado paramétrico de edificios que podían ser replicados bajo el proceso sencillo de impresión 3D para arquitectos y profesionales del diseño (García, 2017).

Por su parte en, 2014, Autodesk también anuncia la producción de su propia impresora 3D llamada *Ember SLA 3D*, años después que AutoCAD® se consolidaba como el dominante en la industria del diseño; las geometrías auto replicantes con comandos que permiten al diseñador plasmar explícitamente líneas bidimensionales en la pantalla utilizando un teclado en lugar de lápiz. Esta filosofía de modelado y prototipado rápido esta ilustrada en la Figura 3.

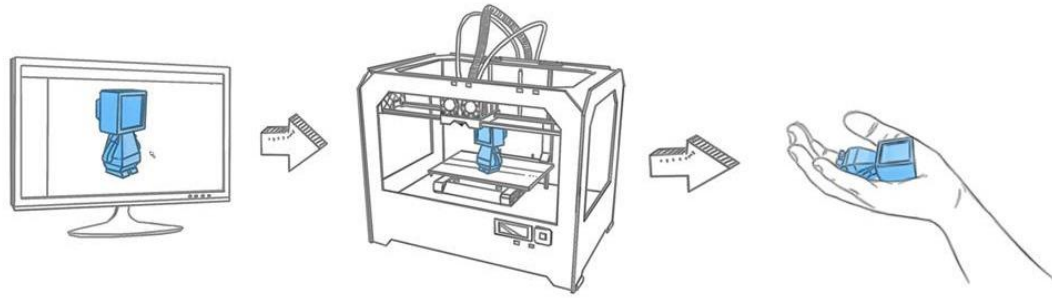


Figura 4. El proceso de la impresión tridimensional.
Saudagar, 2019

Actualmente, el diseño paramétrico y la impresión han evolucionado enormemente gracias a la aparición de nuevas herramientas de creación digital como: 3DSmax, Maxscript, Archicad: CDL, Autocad: AutoLISP, Processing: Java, Revit: Visual Basic & Python, entre otras, que, a la par de potentes editores gráficos de algoritmos como *Grasshopper* potencializa los procesos de diseño, en ambientes gráficos amigables y eficientes que minimiza los errores. Mas allá de todo, la tecnología usada correctamente puede ayudar a simplificar y a optimizar el trabajo del diseñador para ampliar los alcances del diseño arquitectónico (García, 2017)

Ingenieros Mecánicos de la Universidad de Ingeniería Mecánica en California Estados Unidos, desarrollaron un estudio de investigación del efecto de direcciones de construcción, porcentajes de relleno, patrones de relleno, velocidad de impresión, temperaturas de extrusión y altura de capa ante las propiedades mecánicas y la precisión dimensional, como presentar un nuevo enfoque desarrollado para modelar piezas FDM utilizando FEA, se midieron las dimensiones de estas muestras y compararon con un modelo CAD en 3D lo cual demostró que la precisión dimensional se ve afectada por la temperatura de extrusión de la dirección del edificio y la capa altura más que el porcentaje de relleno, el patrón y la velocidad de impresión (Alafaghani et al., 2017).

De la mano de las innovaciones, en Slovenia se implementan los sistemas de fabricación automatizados ADECCO, que en un futuro cumplirán con las condiciones mínimas para el uso interoperable de sistemas de automatización de

fábricas en la construcción, basándose en modelos de información (BIM¹³), los cuales en la fase de planificación y diseño deben de ser consumibles por sistemas de fabricación. Y en la fase de la construcción sean independientes del software o dispositivo hardware específico. Estos proyectos contribuirán a la disminución del costo de la ineficiencia a lo largo del ciclo de vida de un edificio (Tibaut et al., 2016).

2.1 Marco teórico

En la historia la arquitectura fue explorada por el ser humano para protegerlo de las condiciones ambientales inestables. Hace siglos la arquitectura fue un arte pionero que tiene características especiales como; simplicidad, organización, estilos caro, decoración precisa, ensambles de materiales, etc. Sin embargo, las edificaciones modernas se convierten en productos complejos que lo conforman piezas que tiene que cumplir diferentes funciones. Por lo tanto, se han desarrollado nuevas técnicas computacionales para facilitar el diseño de edificios modernos y complejos, para crear una relación cuantitativa conveniente entre el entorno y la envolvente teniendo en cuenta los obstáculos que influyen al crearlo, Por lo tanto, esto ha formado el concepto de diseño paramétrico en la arquitectura, con el fin de lidiar con diseños complejos y obtener resultados precisos. (Eltaweel & SU, 2017)

Es realmente difícil lidiar con sofisticados edificios o formas convencionales de diseño, desde la aparición de esta nueva tecnología se ha evolucionado el uso de impresión 3D encontrado su lugar en las diferentes ramas profesionales como es el caso de la educación, la construcción y diseño de prototipos, permitiendo el ahorro de material, mano de obra, tiempo, etc. (*Padre de La Impresion 3D, Charles W. Hull, 2018*)

Todos los procesos de impresión 3D requiere que el software, el hardware y los materiales de impresión, así como los probables procesos de postproducción trabajen en conjunto; un ejemplo de ello es el curado y suavizado de aristas en prototipos.

¹³ Building Information Modeling por su definición en inglés.

La impresión 3D, también conocida como manufactura por adición, es un proceso por el cual se crean objetos físicos colocando un material por capas en base a un modelo digital(López, 2016).

Por otra parte, el diseño paramétrico forma parte del proceso de una impresión en 3D como la mención que hace Winsun debido a que dinamiza el proceso de creación del modelo y su posterior revisión, ya que facilita la introducción de cambios en cualquier momento del proceso de la construcción o revisión del proyecto(Winsun, 2016).

El concepto de parámetro es una constante o una variable que aparece en una expresión matemática y cuyos distintos valores dan lugar a distintos casos en un problema.

La geometría paramétrica se compone de unas complejas acciones que hay que entender para juzgar la viabilidad de sus propuestas, ya que el diseño paramétrico hay que entenderlo ligado a un proceso de programación, la fabricación digital y a la simulación del comportamiento(García, 2017).

Lo que lleva al diseño paramétrico a considerar desde la aplicación de curvas paramétricas hasta la relación de propiedades generales de la edificación y utiliza programación gráfica y/o software de análisis. En general, el diseño paramétrico se refiere a la vinculación entre aspectos formales del proyecto, que se pueden modificar durante su desarrollo, lo que implica nuevos recursos instrumentales y actividades en el diseño arquitectónico (García Alvarado & Lyon Gottlieb, 2013).

Al contrario de lo que ocurre en la representación bidimensional o en los tradicionales modelos tridimensionales, trabaja sobre el proceso de creación en vez de en el resultado final, definiendo todos los factores, parámetros y operaciones entre ellos, necesarias para su desarrollo(Hurtado, 2010).

El diseño paramétrico es crecientemente utilizado en el trabajo arquitectónico, con recursos computacionales de programación geométrica y/o al análisis técnico, en

grandes proyectos o instalaciones experimentales (García Alvarado & Lyon Gottlieb, 2013).

Mediante la definición de las funcionalidades críticas del software para impresión 3d en varios contextos, este estudio segmenta el mercado del software de impresión 3D en tres partes claramente diferenciadas.

Amphyon, diseñado para ser un software de preparación y procesamiento de impresión en 3D, que incluye elementos de análisis para la simulación del objeto en varios contextos (*Evolución y Tendencias Del Software Para Impresión 3D*, n.d.).

Cuando se automatiza para obtener parámetros y resultados específicos, esta técnica se convierte en una forma efectiva de generar resultados controlados computacionalmente dentro del proceso del diseño interactivo, lo que permite a los diseñadores producir parámetros optimizados que resultan en una forma, gráfico y arrojando datos los cuales cumplen con los criterios de diseño (Krymsky, 2013).

Estos Softwares usan un lenguaje de programación visual para el diseño de algoritmos regenerativos que permite manipular y crear geometrías. Se comunica con el ordenador a través de elementos gráficos con la finalidad de programar una serie de acciones lógicas y ordenadas para generar desde las formas más simples a las más complejas (*Rincon Paramétrico: ¿Qué Es Grasshopper?*, 2016).

Es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que utiliza para representar y estudiar de forma simple y compresible una porción de la realidad empírica. Los modelos simbólicos se construyen mediante reglas notablemente más abstractas ya que esta denominación suele aplicarse a los casos en los que el objeto real se representa mediante una codificación matemática (Rocha, 1994).

Construir un modelo matemático a partir de medidas realizadas sobre el método lo cual es un proceso de diseñar a un modelo en un sistema real y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias para el funcionamiento de este (Asociado, 1981).

La simulación se refiere a la operación de un modelo numérico que representa la estructura de un proceso dinámico. Dado los valores de las condiciones iniciales, los parámetros y las variables exógenas, se lleva a cabo una simulación para representar la conducta del proceso a través del tiempo (Ramos, 2015).

El modelo de información de construcción (BIM) que es el proceso de generación y gestión de datos de un edificio a lo largo de su ciclo de vida. Para esto se utiliza software dinámico de modelado que agrega distintas dimensiones a un proyecto, abarcando la geometría del edificio, las relaciones espaciales, la información geométrica, junto a las cantidades y propiedades de sus componentes, entre otros elementos (Ning et al., 2017).

En estos procesos se utiliza además una base de datos inteligente que se actualiza con cada avance que ocurre en el proyecto, mostrando información en tiempo real y permitiéndonos visualizar los cambios en distintas áreas de manera simultánea. La gestión de estas modificaciones tiene como objetivo incrementar la eficiencia y sostenibilidad de una edificación en todo su ciclo de vida. (Hildebrandt, 2015). La arquitectura bioclimática es aquella capaz de utilizar y optimizar los recursos naturales para su aprovechamiento en la mejora de las condiciones de habitabilidad.

Las variables del proceso constructivo y de ejecución de obra, contemplando las actualizaciones necesarias que permitan preservar y mejorar. “Permite satisfacer necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras” (Nieva, 2011).

El enfoque del diseño paramétrico orientado al rendimiento que se desarrolla está estructurado en dos segmentos, una usa geometría paramétrica para generar alternativas de diseño, y por otra parte usa exploración basada en el desempeño y evaluación de alternativas que puede utilizarse en redes o análisis de convergencia. (Turrin, von Buelow, et al., 2012)

Es un enfoque de sistemas orientado a los procesos de diseño. El termino regenerativo, describe los procesos que respaldan, renuevan o revitalizan sus propias fuentes de energía y materiales, la creación de sistemas sostenibles que

integran las necesidades de la sociedad a la integridad de la naturaleza. Es la biométrica de los ecosistemas que proporcionan todos los sistemas humanos para funcionar como un gran método de economía viable cerrando para la industria. Son marcos integrales que busca crear sistemas sin desperdicio. (Heavengrown, 2015)

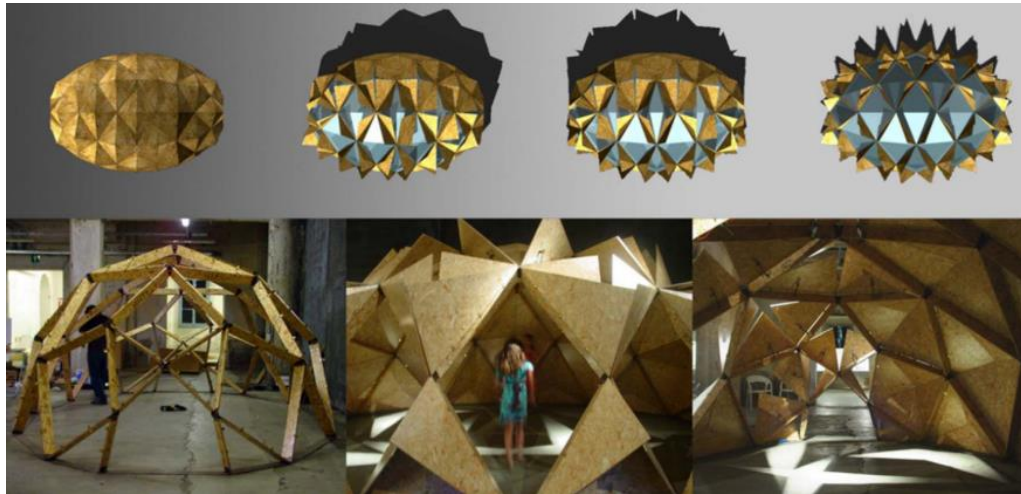
El desarrollo de nuevas herramientas y nuevos diseños, modos de proyección de fabricación han abierto un mundo de nuevas posibilidades para el diseño donde casi cualquier forma puede ser construida, lo que diría hacia la explicación de nuevas morfologías y relaciones en nuestro entorno construido. Una de las posibilidades que se encuentran hoy sobre la mesa es el diseño paramétrico ha tomado protagonismo en distintas áreas, brindando imágenes de geometrías complicadas que antes ni se imaginaba. (Fraile, 2014)

Que esta tecnología no es una moda pasajera en el hecho de que los países más avanzados del mundo están invirtiendo en centros de innovación en impresión 3D para el desarrollo de sus industrias de Fabricación, que les permita conseguir innovaciones radicales que les den el liderazgo mundial en muchos sectores. (Partners Acadénucis, 2018)

2.2 Estado del Arte

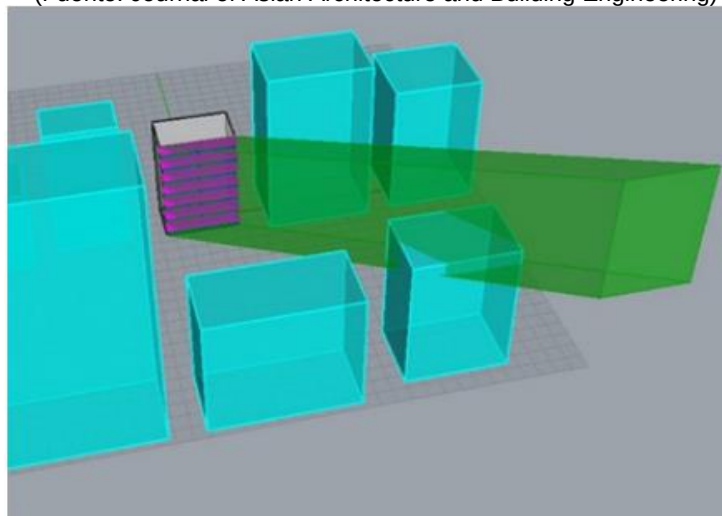
Jóvenes investigadores; Michella, Peter Axelan y Rudi, se dieron a la tarea de realizar un estudio con una nueva herramienta paramétrica llamada ParaGen, que es un complemento conectado a Grasshopper que estudia los criterios de rendimiento utilizando algoritmos genéticos, teniendo en cuenta el diseño orientado al rendimiento estructural en un claro con dimensiones grandes y espacios al aire libre con el objetivo de mejorar y brindar un ambiente a las áreas con luz natural y confort térmico. El estudio determinó que el enfoque del diseño paramétrico puede proporcionar un control en las geometrías complejas de los espacios y brindarle una amplia variedad de aumentar la versatilidad del proceso del diseño geométrico. (Eltaweel & SU, 2017).

Figura 5. The TetraScript Pavilion Concept, Controlled Parametrically.
(Fuente: Parametric design and daylighting: A literature review)



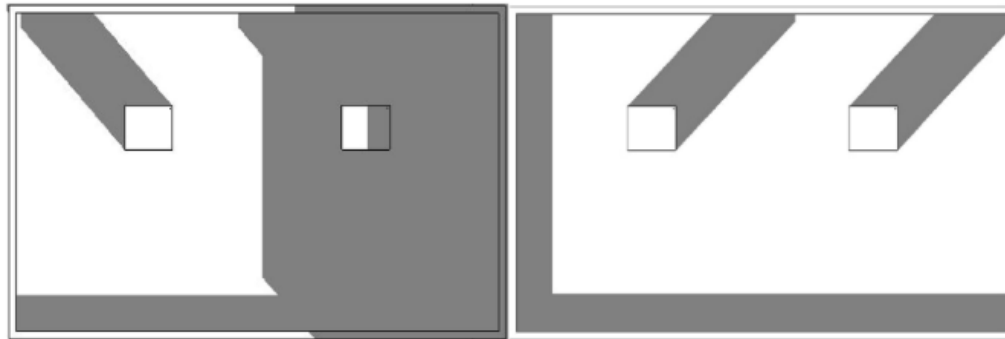
Por otro lado, la universidad Nacional de Seúl Corea, un par de docentes del departamento de arquitectura estudiaron el desarrollo de la metodología del diseño paramétrico que combine con el análisis térmico, en el cual se tomó un edificio de oficinas con un muro cortina virtual en Seúl, este estudio se desarrolla utilizando una secuencia de comandos utilizada es Grasshopper que posteriormente se completaría en otro software llamado Rhinoceros 3D. Se obtuvo que es un sistema de diseño de persianas paramétricas con un tipo de rejillas, que optimizan el control de radiación directa, reduciendo las cargas de calefacción y refrigeración del edificio.(Choi et al., 2014)

Figura 6. Evaluación del proceso de la radiación.
(Fuente: Journal of Asian Architecture and Building Engineering)



En base a los casos anteriores estudiantes y una empresa de creación de sistemas fotovoltaicos del sur de Changsha, China. Crean una herramienta de diseño de sistemas fotovoltaicos distribuido en automático, que utiliza e integra la información existente y las técnicas de modelado, para facilitar la simulación precisa del sistema fotovoltaico, la herramienta realiza un análisis detallado de la sombra y la radiación sobre la base del modelo BIM existente y de acuerdo con esto ejecuta un proceso de diseño fotovoltaico orientado por el objetivo de la relación costo-potencia mínima. Lo que nos indica que puede mejorar un 265% de eficiencia en el diseño, que puede aumentar la producción de energía en un 36.1% y reducir el 4.5% de la inversión capital por unidad de producción de energía (Ning et al., 2017).

Figura 7. Resultado de sombreado en 2 diferentes estaciones del año.
(Fuente: BIM-based PV system optimization and deployment.)



Mientras tanto, en las nuevas tecnologías sobre el modelado los investigadores en el departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Taiwan diseñaron un modelo que utiliza tarifas de energía, datos metrológicos, métodos de análisis de insumos de energía: por ejemplo, análisis de demanda y el consumo de energía. El análisis se realiza utilizando *Ecotec Analysis* para la construcción de BIPV. Este estudio simula la producción de electricidad de cuatro sistemas de módulos BIPV durante un periodo de tres años desde el 2011 hasta el 2014, comprobando la eficiencia que tiene el tener en cuenta datos los cuales bajen los insumos del modelo(Kuo et al., 2016).

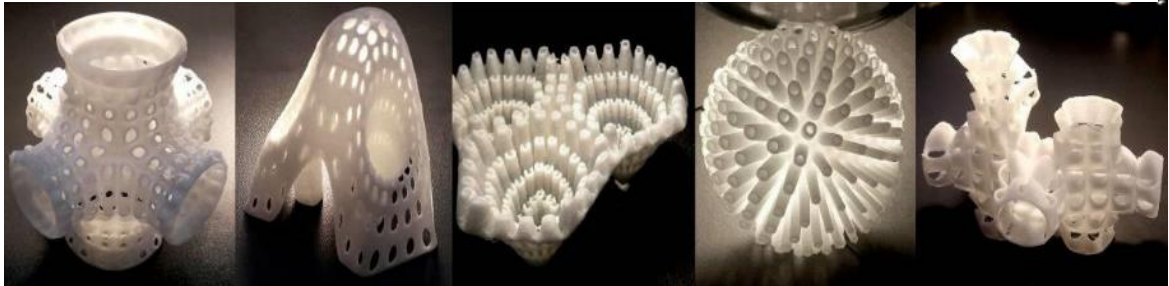
Figura 8. Modelo de métodos de análisis
A verification study for energy analysis of BIPV buildings with
BIM Hang-Jung



A su vez, un grupo de arquitectos de la Universidad de Arquitectura y Urbanismo en Ion Mincy, localizada en Budapest, establecieron un modelo paramétrico y un software de análisis o simulación como EnergyPlus, Radiance, Daysim y OpenStudio, esto abriendo la posibilidad de los arquitectos usen el poder de la computación para modelar y simular el comportamiento ambiental real por ejemplo la radiación solar calculada en las cara de un modelo arquitectónico de forma libre, el análisis de acceso solar en un entorno urbano complejo y análisis de luz natural para el diseño (Anton & TÁnase, 2016).

Con el auge de la comprobación un grupo de docentes de la Universidad de Ingeniería Mecánica en California Estados Unidos, desarrollaron un estudio de investigación del efecto de direcciones de construcción, porcentajes de relleno, patrones de relleno, velocidad de impresión, temperaturas de extrusión y altura de capa ante las propiedad mecánicas y la precisión dimensional, como presentar un nuevo enfoque desarrollado para modelar piezas FDM utilizando FEA, se midieron las dimensiones de estas muestras y compararan con un modelo CAD en 3D lo cual demostró que la precisión dimensional se ve afectada por la temperatura de extrusión de la dirección del edificio y la capa altura más que el porcentaje de relleno, el patrón y la velocidad de impresión(Alafaghani et al., 2017).

Figura 9. Geometrías complejas, impresas en 3D
(Fuente: Experimental Optimization of Fused Deposition Modelling Processing Parameters: a Design-for-Manufacturing Approach)



De la mano de las innovaciones en Budapest. Ingenieros de la universidad de Maribor, Smetanova Slovenia, implementan que los sistemas de fabricación automatizados llamados proyectos ADECCO en un futuro cumplan con las condiciones mínimas para el uso interoperable de sistemas de automatización de fábricas en la construcción, basándose en modelos de información (BIM), los cuales en la fase de planificación y diseño deben de ser consumibles por sistemas de fabricación. Y en la fase de la construcción sean independientes del software o dispositivo hardware específico. Estos proyectos contribuirán a la disminución del costo de la ineficiencia a lo largo del ciclo de vida de un edificio (Tibaut et al., 2016).

Como experimento de la geometría informada. La Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Stavanger, Noruega, a cargo de jóvenes investigadores llevaron la elaboración de este artículo de investigación el efecto del proceso de la técnica de fabricación digital con filamentos de polímeros termoplásticos se llevó a cabo poniendo el material al máximo rendimiento, sobre los parámetros de procesamiento que influyen significativamente en las propiedades de las piezas que se producirían. Esto determinó que entre más trama alta y peso tendría el proceso se produciría más tensión y había probabilidades de un quiebre (Gebisa & Lemu, 2019).

Adquiriendo el conocimiento de previas investigaciones. La empresa encargada de la industria de la construcción *Yingchuang Buildign Technique* en Shanghai también conocida como Winsun, tiene como objetivo revolucionar el enfoque de la impresión

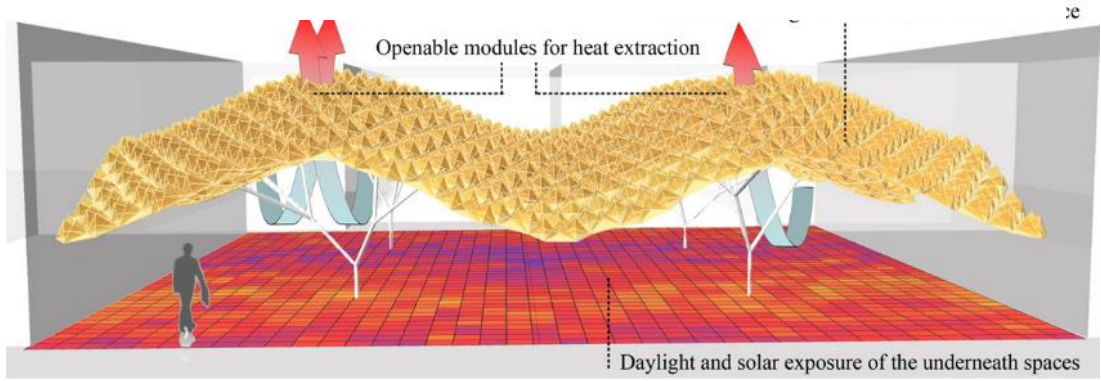
en 3D con dimensiones reales, utilizando una tinta especial hecha de cemento, arena y fibra, junto con un aditivo patentado, agregando capa por capa para imprimir las paredes y otros componentes, como el 50% de desechos de demolición. Se logro imprimir 10 casa de 1.100 metros cuadrados, en un día de impresión, dos días de montaje con estructuras de barras internas. (Winsun, 2016)

Figura 10. Casa impresa por WINSUN
(Fuente: Demonstrating the Viability of 3D Printing at Construction Scale)



Como resultado de todas las innovaciones en la universidad de Singapur los arquitectos desarrollaron el diseño orientado al desempeño de grandes estructuras de techo para espacios semi-abiertos se investiga con el objetivo de integrar las evaluaciones de desempeño en las primeras etapas del proceso de diseño. En particular, la luz del día y el confort térmico se mejoran bajo grandes estructuras al explorar. Discutiendo cómo se realiza la exploración basada en el rendimiento utilizando una herramienta llamada ParaGen. El potencial del método se muestra en un estudio de caso del techo SolSt. El proceso de diseño de SolSt se basa en variaciones paramétricas de su curvatura, la densidad de sus módulos y la geometría de su revestimiento, y se explora en función de la luz y la exposición solares del espacio cubierto.(Turrin, Von Buelow, et al., 2012)

Figura 11. Funcionamiento del diseño de malla y modulaciones.
(Fuente: Performative skins for passive climatic comfort A parametric design process)



Capítulo III.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Algunas de las voces más competentes en el ámbito académico describen la metodología como pasos a seguir sobre la marcha de una investigación, los cuales se pueden adaptar de manera general a los requerimientos y alcances del estudio. (Sampieri, 2003) cubriendo los puntos esenciales que guían la secuencia de estos puntos:

- **Diagnóstico**

Es el proceso de reconocimiento, análisis y evaluación. El diagnóstico nos ayudara a determinar mediante el análisis de datos e información, la mejora de una situación.

- **Análisis**

Consiste en la separación del problema hasta llegar a conocer los elementos fundamentales que lo confirman y las relaciones que existen entre ellos.

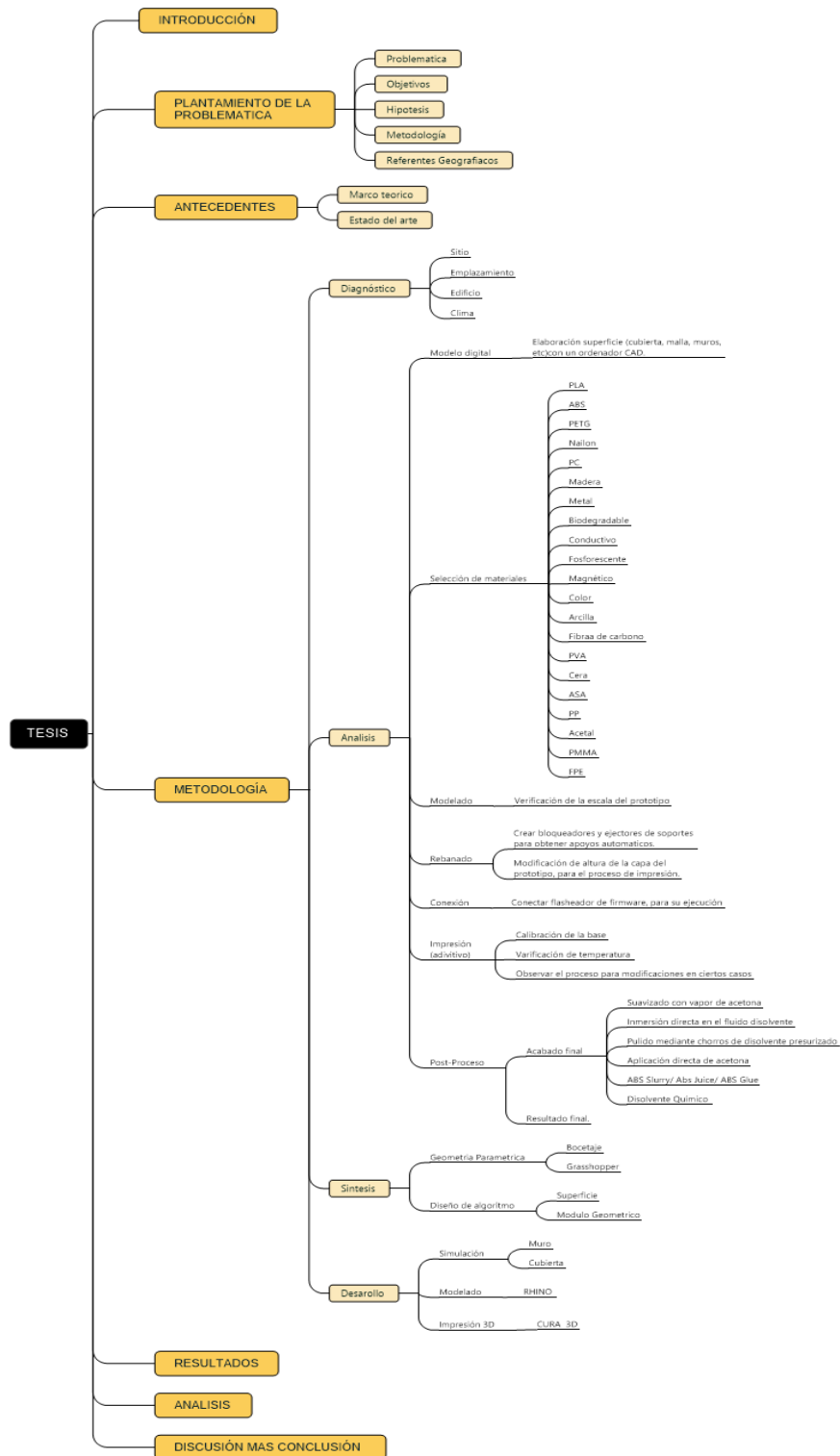
- **Síntesis**

Se refiere a la composición de un todo.

- **Desarrollo**

Siguiendo esta metodología, se pretende recolectar y analizar una serie de datos que faciliten la comprensión de la elaboración de esta investigación.

Figura 12. Metodología de la investigación. (Elaboración propia,2019)



3.1. Diagnostico

El estado de Baja California está ubicado en el noroeste del país y ocupa la porción norte de la península del mismo nombre. Sus coordenadas extremas son: 32° 43' y 28° 00' de latitud norte, 112° 47' y 117° 07' de longitud oeste. Limita al norte con los Estados Unidos de América, Sonora y el Golfo de California; al este con el Golfo de California; al sur con Baja California Sur y el Océano Pacífico y al oeste con el Océano Pacífico. El estado cuenta con una superficie de 71 546 km² lo que representa 3.6% del total nacional y es la undécima entidad más extensa del país. Se divide en cinco municipios: Mexicali, Tijuana, Tecate, Ensenada y Rosarito. (INEGI, 2001)

El municipio de Ensenada tiene una extensión territorial de 52 510,71 km², se localiza en las coordenadas 28° 00' 00" - 32° 12' 10" de latitud norte y 115° 22' 50" - 116° 53' 03" de longitud oeste; limita al norte con los municipios de Playas de Rosarito, Tijuana y Tecate; al noreste con el municipio de Mexicali, al este con el Golfo de California; al oeste con el Océano Pacífico; y al sur con el estado de Baja California Sur y en su división política comprende 23 delegaciones municipales(INEGI, 2001).

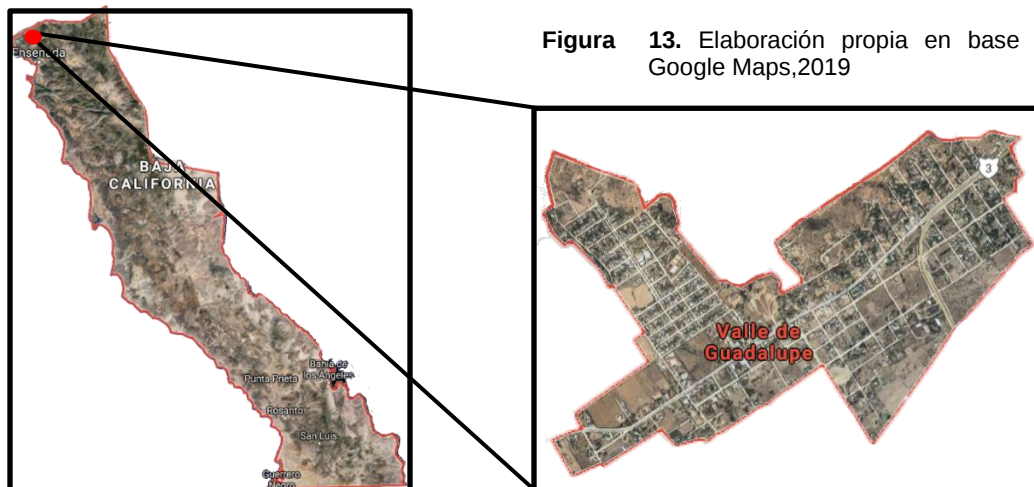


Figura 13. Elaboración propia en base a Google Maps, 2019

El Valle de Guadalupe se encuentra a 30 Kilómetros de la ciudad de Ensenada, al interior de la península de Baja California. El Valle es en una extensión de zona rocosa-montañosa de 66.353 mil hectáreas sobre los márgenes del Arroyo Guadalupe con una elevación sobre el nivel del mar de 1.100 pies (335 metros). Tiene un micro-clima mediterráneo que es propicio para las actividades vitivinícolas. El Valle es una pequeña region de la Baja California, que se ha convertido en cuestión de tres décadas en una zona vitivinícola tan encantadora como las que uno puede hallar en las laderas de Los Andes o en la costa norte del Mediterráneo.

El terreno está ubicado en una zona con vinícolas alrededor, junto a la zona habitacional y comercial. El acceso al terreno se dificulta ya que no se encuentra con ningún tipo de pavimentación y alguna otra alternativa para lograr que la carretera sea la más adecuada y factible a su destino. En la zona se encuentran dos equipamientos educativos uno está al noroeste y otro al suroeste dando así educación la población de la zona.

La fachada Sur el único acceso que da al terreno, cuenta con una vista favorable ya que se puede apreciar el atardecer y amanecer sin ninguna interrupción de algún tipo de edificación, esto puede favorecer al aprovechamiento de la radiación solar que se implementara al proyecto. El crecimiento de construcciones habitacionales en la zona Sur puede que a futuro dañe la vista panorámica, dependiendo los diferentes tipos de niveles que se implementen.

Figura 14: Vista Sur



La Fachada Este, tiene una vista que abarca el arroyo Guadalupe y una construcción en obra negra que será como una zona de hoteles, a lejos se observan varias vinícolas que le dan un atractivo a la fachada. Los diferentes tipos de colores y materiales que se observan juegan parte importante del atractivo visual de esta fachada.

Figura 15. Vista Este



La fachada oeste aparece un muro ciego ya que no influye en el terreno, se encuentra construcciones con arquitectura simple puede ser un factor para lograr diferentes maneras de alcanzar una vista predominante.

Figura 16. Vista Oeste



La fachada Norte, se ubica frente del arroyo Guadalupe produce una sensación de relajación y encuentro con la naturaleza alrededor de ella se encuentra ubicadas dos vinícolas que están en un terreno favorable y disfrutan sin ninguna interrupción, junto con el cultivo de la uva que en la época de producción de ella se puede apreciar una vista agradable y satisfactoria al usuario. En esta vista se distinguen tipos de materiales tanto habitacional y comercial, que dan un atractivo visual, ya se la piedra laja, madera, concreto, ladrillo, block, etc.

Figura 17. Vista Norte



3.1.1 Espacio No Visual.

El recorrido de la zona empezó con un enfoque al acercarse a la naturaleza aportando diferentes colores, texturas, fauna, flora, sonidos, olores. Las vías vehiculares te ayudan a ir a una velocidad baja en la que puedes observar todo a tu alrededor como se relacionan los espacios con la comunidad como percibir una comunidad que crecerá y a futuro no será la misma. El olor de la fauna predomina al principio, pero al llegar al terreno ese olor desaparece y empieza a transcurrir el viento con una velocidad bastante alta con una temperatura baja que te llena de escalofríos queriéndote cubrir y escapar de ella. Se percibe una tranquilidad un silencio absoluto con el sonido de pájaros, gallinas, perros, vacas, y todo tipo de animales, este sonido te ayuda a relajarte y sentir que esta solo con la naturaleza.

La flora es muy abundante en el terreno más en temporadas de lluvia donde además se asienta el agua en diferentes lugares del terreno y eso provoca más humedad alrededor de ella. El arroyo no es algo grande tiene como un aproximado de un metro y medio de ancho, pero no obstante se hace notar y juega un papel importante y sobresaliente en el terreno y da a la posibilidad de interactuar con él o solamente mirarlo te deja un lado diferente de la comunidad.

Figura 18. Paleta de materiales constructivo en la zona. (Elaboración propia)



Los espacios arquitectónicos que se relacionan con el terreno crean sensaciones nuevas y muchas dudas todos tiene algo en común integrarse al entorno y solo algunos lo contrario quieren desafiar a la naturaleza o solamente construir una edificación que no te hace sentir o reaccionar de manera positiva.

El paisaje cultural que se obtiene en este terreno son gracias a las vinícolas que se aproximan al terreno, casa rusticas y haciendas. Esto provoca que el impacto humano no en el paisaje se integre de una manera adoptiva, esto quiere decir que los colores, las textural, los materiales y el paisaje se integran de la mejor manera para crean un paisaje cultural que se adapte a los terrenos en esta zona.

Figura 19. Paleta de composición cromática.
(Elaboración propia)

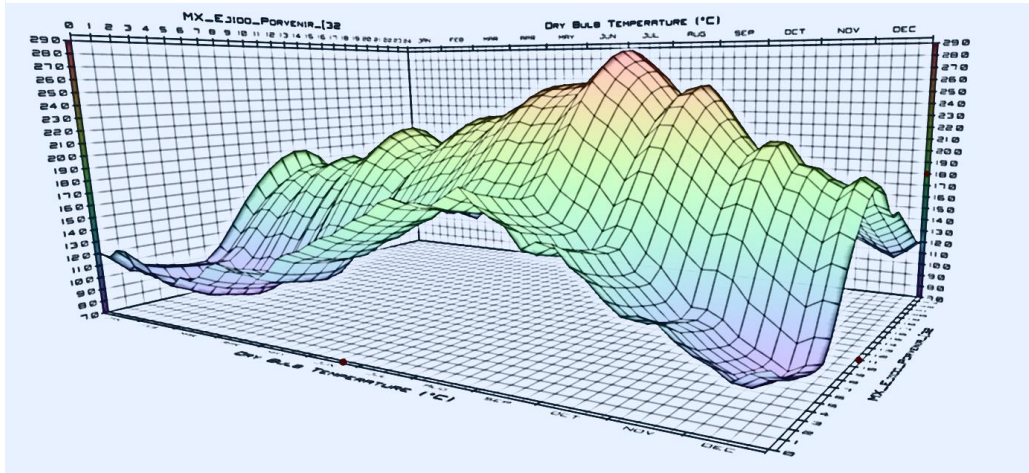


3.1.2 Clima

El norte de Baja California se encuentra en el margen meridional de la zona de clima mediterráneo de Norteamérica. De ahí que el tipo de clima en la Región del Vino es seco mediterráneo con lluvias de invierno. Las tormentas frontales de invierno ocasionan lluvias de noviembre a abril. Los veranos son secos, con excepción de las tormentas vespertinas que ocurren en las montañas.

En la estación climatológica Olivares Mexicanos se ha registrado una temperatura media en 45 años de 16.9° C (de 1948 a 1993). En este lapso la temperatura mínima registrada fue de -9°C (diciembre de 1966) y la máxima de 45.5°C (agosto de 1951). Las precipitaciones se presentan durante el periodo invernal en los meses de noviembre a abril, con una media anual de 337.8 mm (estimada entre 1970-1993), mínima en 1989 de 87.0 mm y máxima en 1983 de 747.5 mm. (DGEEBC-UABC, 2004)

Tabla 1. Temperatura máxima en color rojo, la media naranja, media baja en verde y mínima en azul claro. (Software: Andrew Marsh)



3.1.3. Asoleamiento

El estudio de asoleamiento y geometría solar realizado plantea el análisis crítico del comportamiento solar de distintas partes del edificio y partes de diseño. En el valle de Guadalupe el recorrido solar en las construcciones es de suma importancia de esto dependerán dichos acomodos, ventanas, puertas y orientaciones.

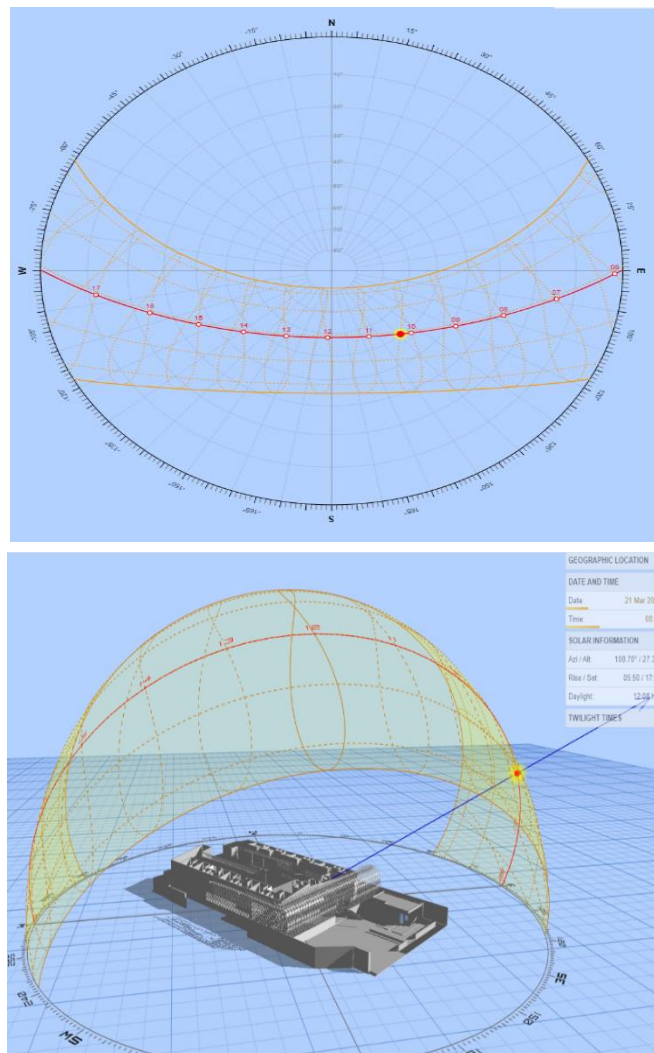
Teniendo en cuenta que el valle tiene una gran incidencia solar por la mayoría de las temporadas. Se determina la necesidad de iluminación natural y control lumínico. Teniendo en cuenta el uso que se va a realizar del edificio, la iluminación utilizada será de manera muy específica debido al uso de las habitaciones, salones y santuario.

En las siguientes imágenes se mostrará el asoleamiento del edificio durante los solsticios y equinoccios a distintas horas del día.

Equinoccio primavera

Es el preciso instante en el que el sol corta el plano del ecuador terrestre. Esto provocara que el día y la noche duren prácticamente lo mismo. En el edificio se observa la mayor cantidad solar en la fachada principal donde se ubica el modelado de protección.

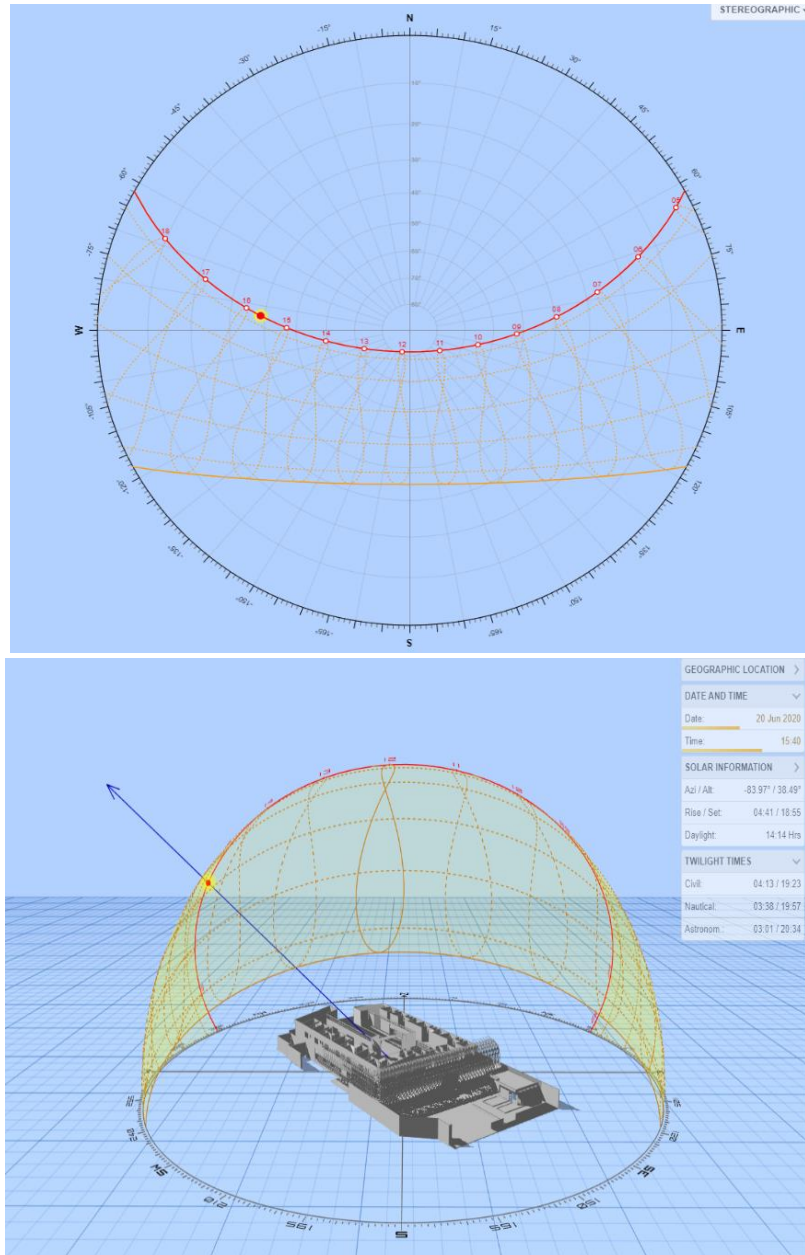
Figura 20. Ángulos que el asolamiento un 20 de marzo del 2019 a las 8:05 am, con un azimuth de 108.70° y una altitud de 27.37° y con luz de 12:08 horas. (Software: Andrew Marsh)



Solsticio de verano

El Polo Norte se encuentra más inclinado hacia el sol que durante cualquier otro día del año lo que indica que el día será más largo y la noche más corta. Por lo que el edificio tendrá en esa temporada del año una incrementación en la incidencia solar.

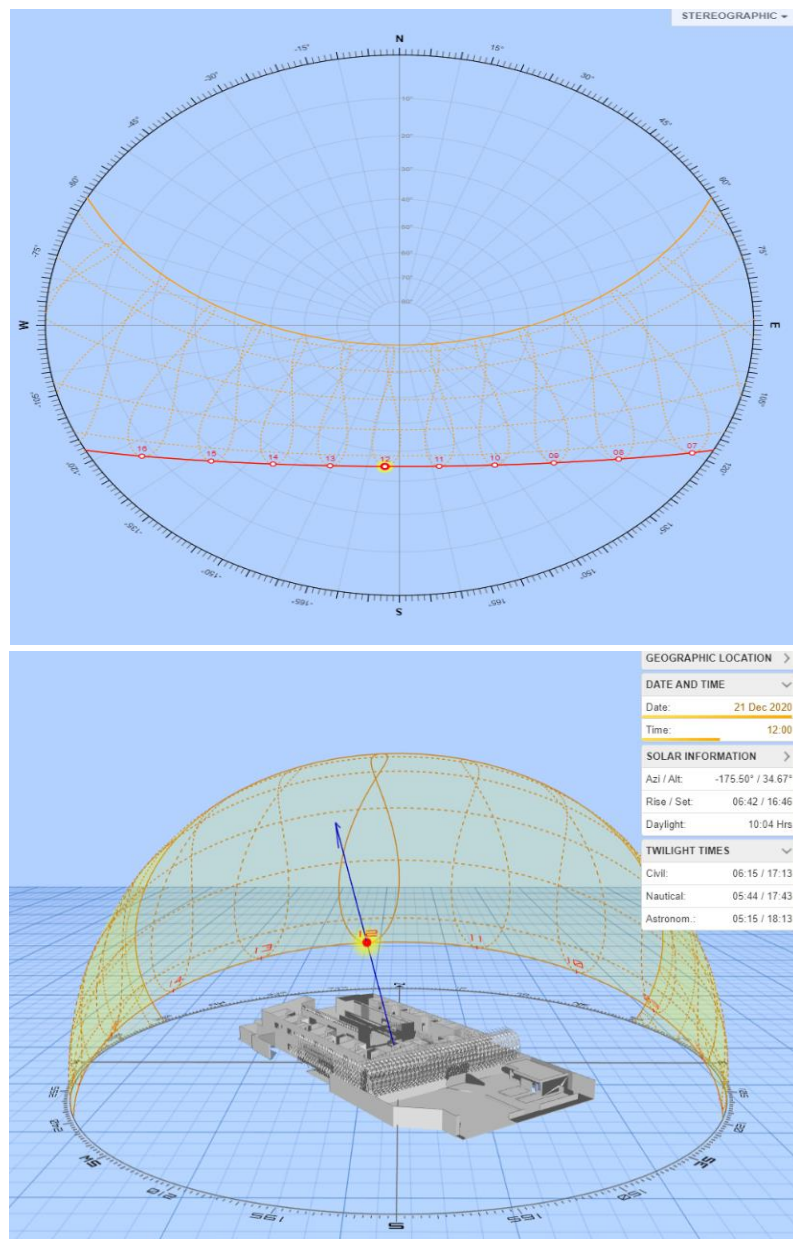
Figura 21. Ángulos que el asolamiento un 20 de junio del 2019 a las 3:00 pm, con un azimuth de -83.97° y una altitud de 38.49° y con luz de 14:14 horas. (Software: Andrew Marsh)



Solsticio de invierno

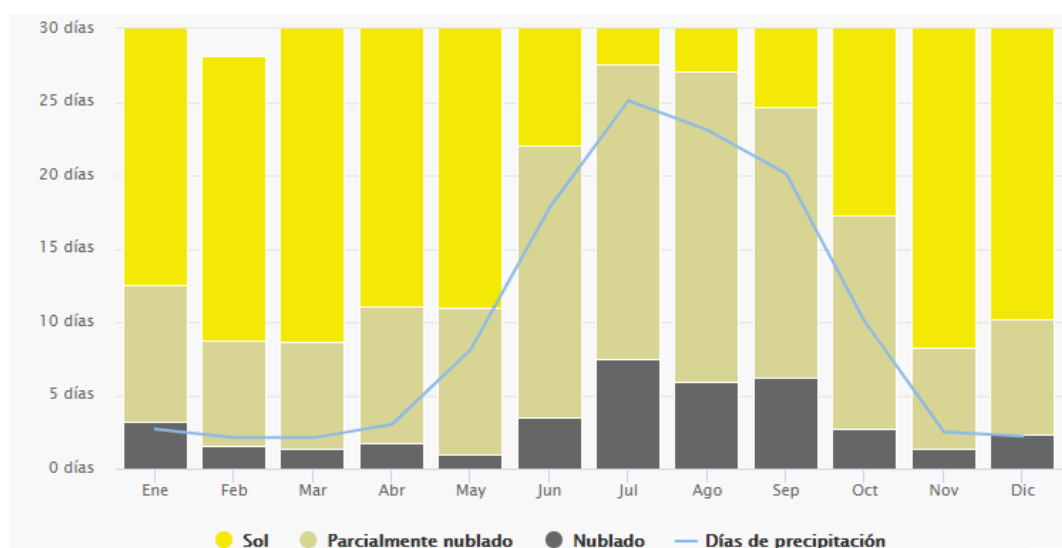
Día del año en el que el sol sale más tarde y se pone mas temprano, y con el empieza la nueva estación. La mayor incidencia solar en esta temporada será en un corto plazo de 10:00 am a 2:00 pm, donde el sol se posicionará de manera que el edificio captará el sol de mayor manera para el beneficio del edificio.

Figura 22. Ángulos que el asolamiento un 20 de marzo del 2019 a las 8:00 am, con un azimut de -175.50° y una altitud de 34.67° y con luz de 10:04 horas. (Software: Andrew Marsh)



Los asoleamientos en el terreno varían, de los días nublados, la mayoría de los días en el valle de Guadalupe son soleados, pero en las temporadas de lluvia y de invierno los amaneceres no llegan a la hora del horario y los días nublados son más largos.

Tabla 2. Muestra el número mensual de los días de sol, en parte nublado, despejado y precipitaciones. Los días con de 20% de cubierta de nubes se considera como días soleados, con 20-80 % de cubierta se nubes como parcialmente nublado y más de 80% nublados. (Meteornom)

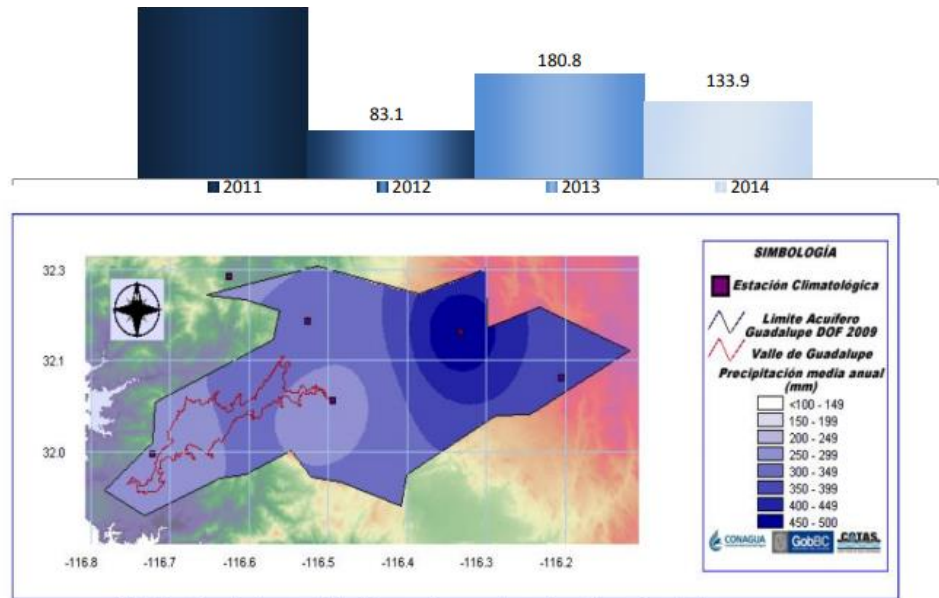


3.1.4. Humedad y Precipitación

Con sus características tormentas de invierno y veranos secos. La precipitación media anual va de 200 a 350 mm en la zona costera y en las cimas de los cerros costeros hasta 400 mm. La escasa lluvia se compensa gracias a la humedad atmosférica que es muy alta en la costa del Pacífico, y representa un factor climático importante en el valle.

Esa humedad, en las noches se condensa en forma de rocío, siendo una fuente muy importante de agua para las biotas de la región; la humedad ingresa al Valle durante el día y se contrarresta con el calentamiento extremoso regresando a la costa por la noche.

Tabla 3 y 4. Muestra la distribución de la precipitación media anual en el acuífero Guadalupe. (Meteoblue)

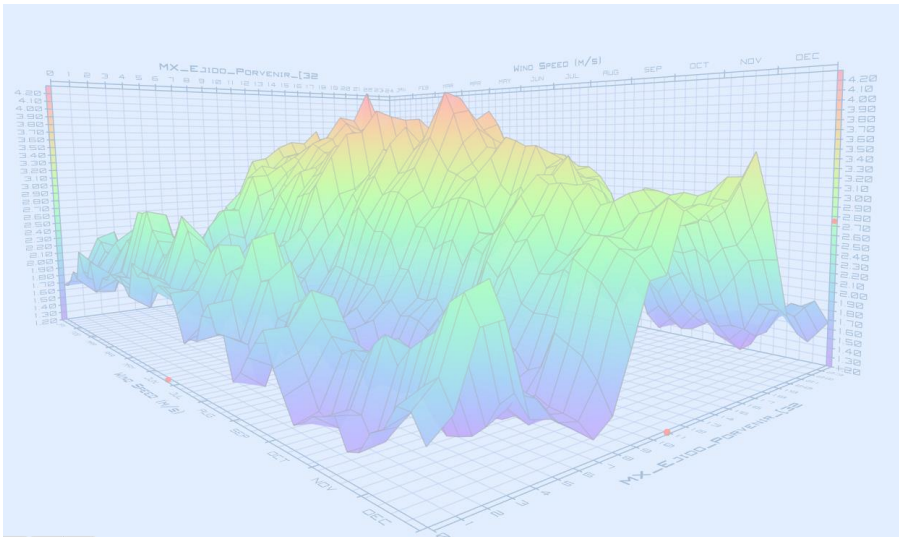


Distribución de la precipitación media anual en el acuífero Guadalupe.

3.1.5. Viento

El viento en el valle se caracteriza por las estaciones del año y las cuales los pronósticos nos indican que los vientos de Santa Ana son aquellos que para los habitantes son más fuertes e intensos, mientras los de invierno suelen afectar en los últimos meses los cuales son los más fríos obteniendo corrientes más notables sobre todo en la zona baja del Valle de Guadalupe.

Tabla 4. Muestra por mes, durante los cuales el viento alcanza su máxima velocidad. (Software: Andre Marsh)



3.4.1 Análisis Climático

Los edificios actualmente se continúan planificando con herramientas que ya no responden a estas inciertas condiciones. Actualmente se necesitan conocer:

- Temperatura media anual y temperatura promedio máxima.
- Precipitación.
- Vientos dominantes: Velocidad y Dirección.
- Radiación.

La temperatura exterior va incidir directamente en el microclima dentro del edificio que pretendemos proyectar, por ellos es importante saber los rangos de temperatura a los que no enfrentemos, y quizá averiguar la temperatura más alta durante el año se lo mas importantes, ese pico nos dirá como ascenderá la temperatura durante los primeros años, puesto que hay que tener algo en cuenta lo que estamos por proyectar no es solo para este momento, es para futuro, el cambio climático es incierto, hay proyecciones que indican que la temperatura pueda subir hasta 5 grados, es bueno incluirlo.

El viento diría es otro de los datos más importantes, saber de qué direcciones viene, para hacerlo ingresar al edificio y sacar el aire caliente que se produce por las diferentes actividades y equipos que contiene: hay que tener algo en cuenta, la dirección del viento no es fija, puede ser que ahora tenga una dirección y dentro de un mes tenga otra distinta, entonces tenemos un rango de direcciones, pero siempre hay una que predominara, si queremos aprovechar esas dirección que no están presentes todo el año lo podemos hacer, cuando tenemos temperaturas bastantes altas para enfriar el edificio, así que ya será decisión personal como se maneje, pero como vemos la dirección y velocidad determina como vamos a enfriar el edificio.

Capítulo IV. ANÁLISIS DE TECNOLOGIAS

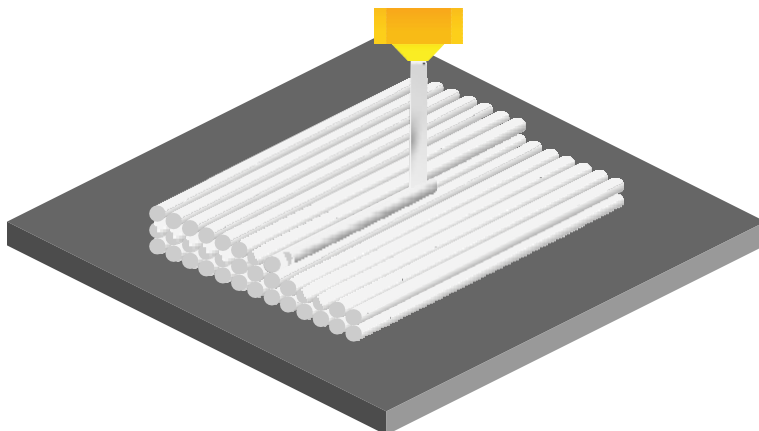
4.1. Tecnologías

4.1.1 Modelados de impresión

La impresión 3D, es un conjunto de proceso que producen objetos a través de una adicción de material en capas que corresponden a las sucesivas secciones transversales de un modelo 3D a partir de un diseño hecho por un ordenador. La impresión se refiere a los procesos en lo que se secuencialmente se acumula el material en una cama o plataforma. La fabricación de filamentos fundidos también conocida bajo el término de marca registrada del modelado por disposición fundida (FDM), a veces también llamada fabricación de forma libre de filamentos es un proceso de impresión 3D que utiliza un filamento continuo de un material termoplástico.

El filamento de alimenta desde una bobina grande a través de un cabezal extrusor de impresora calentado y en un movimiento se deposita en el trabajo en crecimiento. El cabezal de impresión se mueve bajo el control de la computadora para definir la forma impresa. Por lo general el cabezal se mueve en dos dimensiones para depositar un plano horizontal o capa a capa a la vez: el trabajo de impresión se mueve verticalmente una pequeña cantidad para iniciar una nueva capa. La velocidad del extrusor también se puede controlar, detener e iniciar.

Figura 23. Ilustración del método de extracción del filamento. (Manual de impresión en 3D)

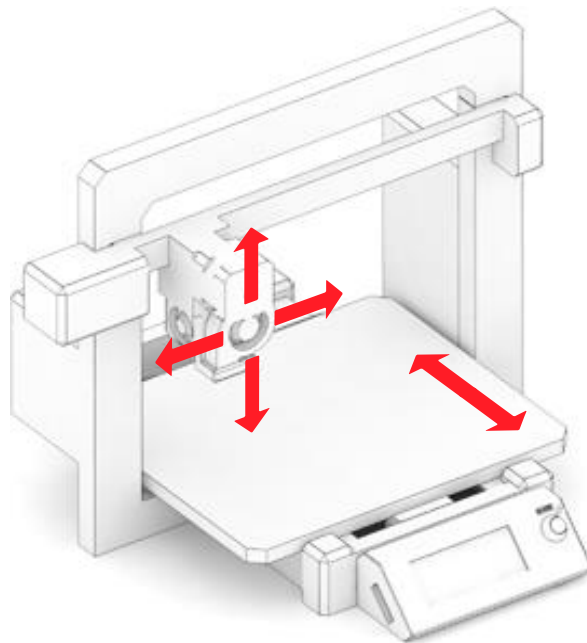


Todos los tipos de impresiones 3D se basan en: crear objetos agregando capas encima de las capas existentes. No existe una tecnología de impresión 3D que sea completamente universal y adecuado para su propósito.

Podemos dividir las impresoras 3D FDM en subcategorías en función del movimiento de sus ejes en el espacio tridimensional

1. Cartesiana lleva el nombre del sistema de coordenadas dimensionales XYZ. La extrusora se mueve en dos direcciones (X Y Z), mientras que la plataforma de impresión se mueve a lo largo del eje Y. Significa que la cama de impresión generalmente tiene forma cuadrada o rectangular. Original Prusa i3 MK3S es una impresora cartesiana.

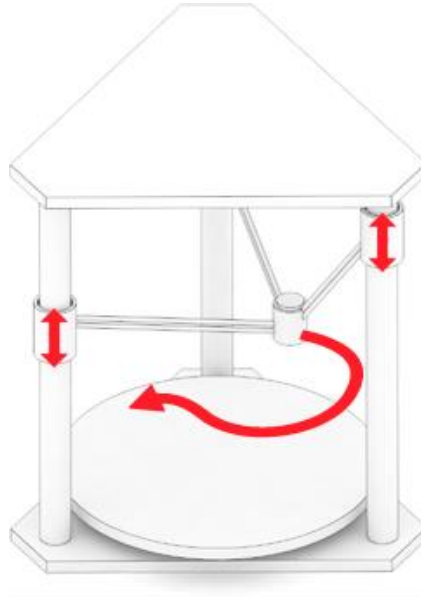
Figura 24. Impresora Cartesiana. (Basics of printing 3D)



2. Delta 3D es una impresora que tiene sus movimientos de la extrusora controlados por tres brazos móviles, que se encuentran en la extrusora. Dos de las mayores ventajas son la velocidad de impresión y los grandes volúmenes de impresión. Sin embargo, la impresora requiere un ensamble y calibración extremadamente precisos.

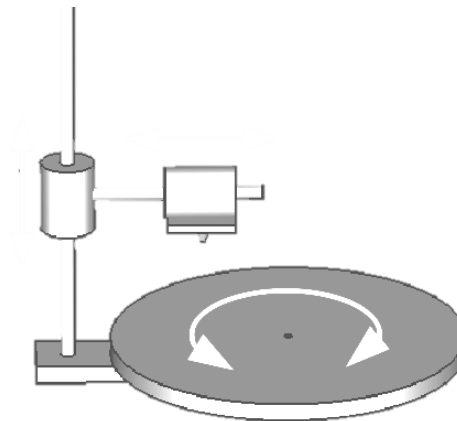
La geometría de la impresora requiere cálculos complejos para los movimientos de motores paso a paso en cada uno de los brazos.

Figura 25. Impresora Delta 3D. (Basics of printing 3D)



3. Polar es una impresora poco común. Se baja en un sistema de coordenadas polares. La extrusora se mueve en dos ejes y la plataforma de impresión gira. Este sistema es bastante simple en cuanto a construcción, sin embargo, la preparación del modelo es bastante complicada.

Figura 26. Impresora Polar. (Basics of printing 3D)



Los distintos tipos de impresión de filamento continuo y su funcionamiento son:

FDM

- Una hebra de plástico derretida por un elemento calefactor y extruida por un cabezal de impresión (extrusora) a través de un aboquilla. Esta es una descripción típica de las tecnologías FFF (Fusion Filament Fabrication) / FDM (Fused Deposition Modeling). Estos términos pueden considerarse sinónimos. FDM es una marca registrada de Stratasys.

SLA

- Material líquido solidificado en capas predefinidas. Esto es lo que generalmente llamamos SLA. La tecnología SLA se basa en resinas líquidas fotosensibles que pueden curarse con luz UV. Las impresoras 3D SLA tiene una plataforma que se mueve una vez que una capa se solidifica para crear espacio para una nueva capa que se adhiera a la interior. En comparación con las impresoras FFF, los objetos son notablemente más detallados, sin embargo, la impresión suele llevar más tiempo y el volumen de impresión es más pequeño

SLS

- Polvo fino sintetizado por láser. La tecnología se llama SLS y DMLS, que utiliza un proceso llamado sinterización. Esencialmente, cada vez que imprime una nueva capa, un cilindro extiende una capa delgada de polvo fino a través de la plataforma que posteriormente sinterizara con el láser la forma requerida.

DLP

- En lugar de un láser, el procedimiento de luz digital utiliza un proyector de luz digital ultravioleta para curar la resina. Destella imágenes de capas enteras en la parte inferior de la tina. La luz se dirige de forma selectiva mediante un dispositivo digital de micro espejo, que es un componente que consiste en cientos de miles de espejos diminutos.

EBM

- La fusión por haz de electrones consiste en la deposición de capa a capa de polvo metálico que se funde de manera selectiva utilizando un haz de electrones como fuente de calor.

LOM

- La fabricación de objetos laminados es un sistema de creación rápida de prototipos. Básicamente se usa para crear piezas de trabajo capa por capa a partir de materiales como papel, plástico o metal laminados.

BJ

- Es una familia de procesos de fabricación aditiva, un aglomerante se deposita selectivamente sobre el lecho de polvo, uniando estas áreas para formar una parte solida capa por capa.

MJ

- Este procedimiento que tiene sus limitaciones, por lo que no puede ser utilizado la mayoría del tiempo. El uso de este método es si necesitas construir piezas con muchos detalles es usado en plata, oro y bronce.

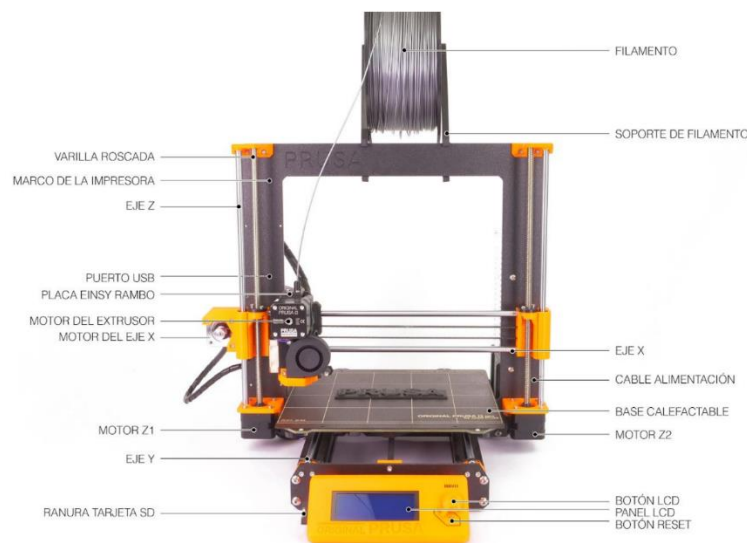
La Prusa i3 es una impresora 3D de fabricación por deposición de filamento fundido (FFF) de código abierto, que forma parte del proyecto RepRap y es la impresora 3D más utilizada en el mundo.

Figura 27. Prusa i3 MK3S. (Manual prusa)



La impresora 3D Prusa i3 MK3S, evaluación de la MK2S, es clasificada como parte de las mejores impresoras 3D en el mercado. Li3 MK3S incorpora una serie de mejoras que la hacen profesional y versátil. Esta versión requiere montaje y ensamblado de componentes. Descripción de la impresora en 3D.

Figura 28. Descripción de la impresora Prusa i3 MK3S original. (Manual de impresion 3D)



- Extructor
- Sensor de filamento
- Cama magnética
- Auto calibración
- Sensor de P.I.N.D.A (Sensor de temperatura en placa)
- Puerto USB
- Ensamblaje del filamento

Figura 29. Kit de impresión
Manual de prusa



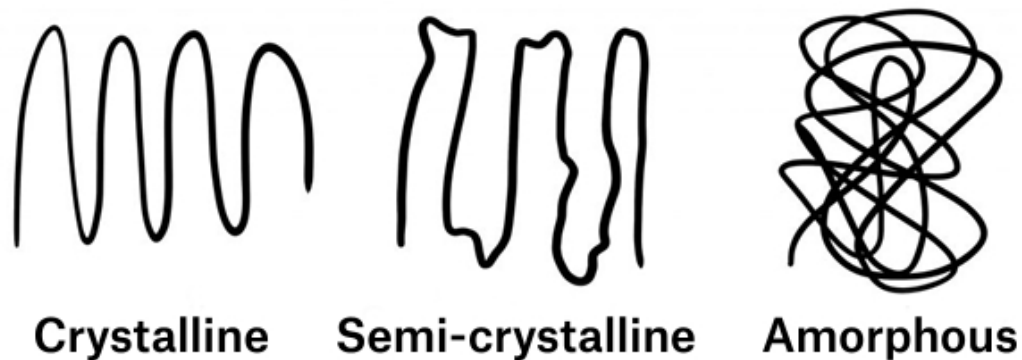
4.1.1 Materiales

La mayoría de los materiales de impresión 3D comúnmente son polímeros, es decir cadenas moleculares largas y repetitivas. Los polímeros tienen dos tipos de estructuras moleculares: amorfas (caóticas) o semi cristalinas (parcialmente organizadas). No existe ninguna línea divisora exacta, las moléculas podrían tener varios niveles de disposición. Las estructuras cristalinas suelen ser duras y rígidas, los polímeros amorfos son elásticos y flexibles.

Se calienta un polímero dentro de una boquilla, es probable que su estructura sea amorfa. El plástico se enfría a temperatura ambiente, por lo tanto, su estructura sigue siendo la misma. Aunque con el filamento normalmente se realizan pruebas de resistencia mecánica, estas propiedades vienen dadas sobre todo la composición. Aunque a efectos prácticos, los parámetros más importantes a tener

en cuenta son el grado de variabilidad del miometro y la calibración propia de la impresora. Los polímeros amorfos tienen un margen amplio entre el comienzo de la transición Vítrea y el punto de fusión.

Figura 30. Estructura de los diferentes polímeros



La selección del material donde se trabajará y que características tendrá el objeto que se quiere fabricar. Los plásticos es lo más común dentro de la impresión 3D. Las tecnologías de deposición fundida son las más conocidos por utilizar materiales plásticos en la impresión 3D, se presentan en formato de filamentos. Existen una gran variedad de filamentos con propiedades diferentes. Algunos materiales son fáciles de imprimir y permiten detallar sobre los objetos impresos, pero su resistencia al calor es baja, o en otros materiales puede ser todo lo contrario. Verificar a la hora de imprimir para prevenir deformaciones y errores en la pieza impresa, sino también problemas graves en la impresión.

La formación de cristales dentro de los polímeros solo puede ocurrir cuando la temperatura alcanza la transición vítrea, pero también se mantiene por debajo del punto de fusión. Para los polímeros amorfos, su punto de fusión es cuando termina la transición vítrea. La estructura se rompe y las moléculas se mueven libremente. Por lo contrario, a temperaturas inferiores a la transición vítrea, las moléculas están

demasiado adormecida para moverse lo suficiente. (*How to Improve Your 3D Prints with Annealing* - Prusa Printers, 2019)

Es simple a cuanto mayor sea la temperatura, más se fusionan las capas individuales, lo que aumenta la firmeza del objeto. Sin embargo, el material también se contrae, se deforma y en cierto punto, se ablanda hasta que el objeto colapsa. Para obtener mejores resultados se encuentra un punto óptimo entre mantener las dimensiones y la forma correcta para hacerlo firme y resistente.

PLA

Como plástico biodegradable, el PLA es ecológico. Deriva de recursos renovables como el almidón de maíz o la caña de azúcar. Es fácil de extruir. Se puede extruir a temperaturas bajas que el filamento ABS y no se deforma con la misma facilidad, no emite un mal olor durante la impresión 3D.

Figura 31. Ejemplo de filamento PLA



Propiedades del filamento 3D: PLA

- Dureza: Alta / Flexibilidad: Baja / Durabilidad: Media
- Dificultad de uso: Baja

- Temperatura de impresión 180 °C – 230 °C
- Temperatura de la cama de impresión: 20 °C – 60 °C
- Contracción/deformación: Mínima
- Soluble: No

ABS

El acrilonitrilo butadieno estireno o ABS es el segundo filamento 3D más popular después del PLA. El filamento complicado de extruir es por esa razón que se utiliza para productos domésticos y bienes de consumo, desde ladrillos LEGOS hasta casco para bicicleta. Los productos fabricados con ABS tienen una larga vida útil y pueden soportar altas temperaturas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que se imprimirá en un área ventilada y se usa de manera obligatoria una cama caliente de impresión.

Figura 32. Ejemplo de filamento ABS



Propiedades del filamento 3D: ABS

- Dureza: Alta / Flexibilidad: media / Durabilidad: Alta

- Dificultad de uso: Media
- Temperatura de la cama de impresión: 210 °C – 250 °C
- Temperatura de la cama: 80 °C – 110 °C
- Contracción/deformación: Considerable
- Soluble: En esteres, cetonas y acetona
- Seguridad alimentaria: No seguro

PETG (PET, PETT)

El tereftalato de polietileno o PET es el plástico más comúnmente utilizando en el mundo. Conocido como el polímero con el que se fabrican las botellas de agua, también se encuentra en fibras textiles y envases de alimentos. Aunque PET rara vez es utilizado en impresión en 3D, el filamento PETG, es ampliamente utilizado.

PETG se ve a menudo como un término medio entre el ABS y el PLA, es más flexible y difícil de extruir. Y es usado popularmente por ser transparente.

Figura 33. Ejemplo de filamento PETG



Propiedades del filamento 3D: PETG

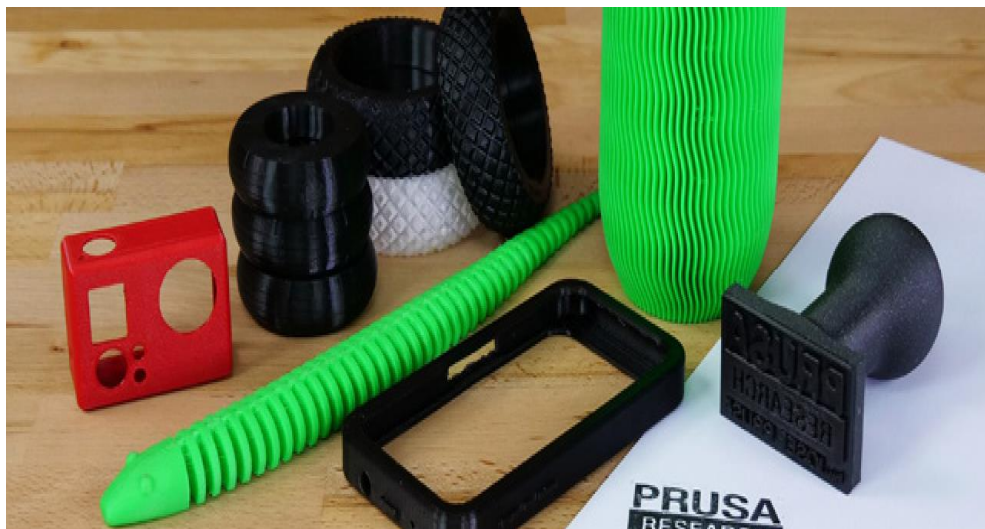
- Dureza: Alta / Flexibilidad: Media / Durabilidad: Alta
- Dificultad de uso: Baja
- Temperatura de impresión 220 °C – 250 °C
- Temperatura de la cama de impresión 50 °C – 75 °C
- Contracción/deformación: Mínima
- Soluble: No
- Seguridad alimentaria: Consulta las especificaciones del fabricante

TPE, TPU, TPC

Los elastómeros termoplásticos (TPE) son esencialmente plásticos con propiedades elásticas, lo que los hace extremadamente flexibles y duraderos. Regularmente se encuentran en piezas de automóviles, electrodomésticos y equipos médicos.

Este filamento suave y estirable puede resistir un manejo que ni el ABS ni el PLA pueden tolerar. Por otro lado, la impresión en 3D no es fácil. También es un poco más duradero y conserva su elasticidad mejor cuando se enfrente a baja temperaturas.

Figura 34. Ejemplo de filamento TPE



Propiedades del filamento 3D: TPE, TPU, TPC

- Dureza: media / Flexibilidad: Muy alta / Durabilidad: Muy alta
- Dificultad de uso: Media (TPE, TPC) baja (TPU)
- Temperatura de impresión 210°C – 230 °C
- Temperatura de la cama de impresión 30 °C - 60°C
- Contracción / deformación: Mínima
- Soluble: No
- Seguridad alimentaria: No seguro

NAYLON

Una conocida familia de polímeros sintéticos utilizados por muchas industrias en comparación con la mayoría de los filamentos para impresoras 3D, el nailon es el número 1 en términos de dureza, flexibilidad y durabilidad.

Este filamento 3D es que se puede teñir antes o después de la impresión. Sin embargo, el aspecto negativo del nailon es que es higroscópico, lo que significa que absorbe la humedad del aire circundante.

Figura 35. Ejemplo de filamento Nylon



Propiedades del filamento 3D: Nailon

- Dureza: Alta / Flexibilidad: Alta / Durabilidad: Alta
- Dificultad de uso: Media
- Temperatura de impresión 240 °C – 260 °C
- Temperatura de la cama de impresión 70 °C – 100 °C
- Contracción/deformación: Considerable
- Soluble: No
- Seguridad alimentaria: Consulta las especificaciones del fabricante

PC-POLICARBONATO

El policarbonato, además de ser el filamento 3D con mayor dureza, es extremadamente duradero y resistente a los golpes y al calor. También es transparente y es por esa característica que se utiliza en máscaras de buceo y pantallas de dispositivos electrónicos.

Se romperá o agrietará cuando la presión sea demasiado alta.



Propiedades de filamento 3D:

- Dureza: Muy alta / Flexibilidad: Media / Durabilidad: Muy alta
- Dificultad de uso: Media
- Temperatura de impresión 270 °C – 310 °C
- Temperatura de la cama de impresión 90 °C- 110 °C
- Contracción/deformación: Considerable
- Soluble: No
- Seguridad alimentaria: No seguro

Tabla 5. Clasificación de filamentos

<i>Material</i>	<i>Siglas</i>	<i>Temperatura del extrusor</i>	<i>Temperatura de la cama</i>	<i>Cama De Adhesión</i>
<i>Ácido Polilactico¹</i>	PLA	205±15 °C	40±15 °C	Cinta adhesiva azul
<i>Acrilonitrilo Butadieno Estireno¹</i>	ABS	230±10°C	90±10 °C	Cinta Kapton/ Fijador de cabello
<i>Ácido Polilactico</i>	PLA 3D	205±15 °C	35±15 °C	Cinta adhesiva azul
<i>Acrilonitrilo Butadieno Estireno</i>	ABS 3D	235±10 °C	70±10 °C	Cinta Kapton/ Fijador de cabello
<i>ColorFabb nGen*</i>		250±10 °C	80±10 °C	Cinta adhesiva azul

<i>Fluorescente</i>		210±30 °C	50±30 °C	Cinta adhesiva azul
<i>Nylon</i>		260±10 °C	60±10 °C	Pegamento
<i>NylonG</i>		260±10 °C	60±10 °C	a base de
<i>Nylon 3D</i>		255±10 °C	70±10 °C	PVA
<i>Pro Nylon</i>		250±10 °C	70±10 °C	(Acetato de polivinilo)
<i>Tereftalato de polietileno</i>	PET	245±10 °C	60±10 °C	
	PETG			
<i>Pro tereftalato de polietileno¹</i>	PETT	240±10 °C		Cinta adhesiva azul
<i>Acrilonitrilo estireno acrilato</i>	ASA	250±10 °C	90±10 °C	Fijador de cabello
<i>Polipropileno</i>	PP	250±15 °C	90±10 °C	Cinta Adhesiva transparente
<i>Flexible</i>	FLEX	220±15 °C	50±15 °C	Cinta adhesiva azul
<i>Flexible TPE</i>	TPE	220±10 °C	30±10 °C	Cinta adhesiva transparente / Fijador de cabello
<i>PCTPE</i>	PCTPE	235±10 °C	70±10 °C	
<i>Ácido poliláctico</i>	Soft PLA	230±10 °C	30±10 °C	Cinta adhesiva azul

<i>Poliuretano termoplástico</i>	TPU	250±10 °C	50±10 °C	Cinta adhesiva azul
<i>Filamentos compuestos</i>	LAYBRICK	190±10 °C	35±15 °C	Cinta adhesiva azul
<i>Madera</i>	Madera	220±30 °C	30±10 °C	Cinta adhesiva azul
<i>Conductivo</i>		220±10 °C	50±10 °C	Cinta adhesiva azul
<i>Arcilla</i>	LayCeramic	265±10 °C	35±10 °C	Cinta adhesiva azul
<i>Fibra de carbono</i>	PLA	210±10 °C	50±10 °C	Cinta adhesiva azul
<i>Metal</i>		210±10 °C	50±10 °C	Vidrio
<i>Acero</i>		200±10 °C	35±10 °C	Cinta adhesiva azul
<i>Hierro</i>		200±10 °C	35±10 °C	Cinta adhesiva azul
<i>Polímero elastomérico de caucho y acetato de polivinilo</i>	PVA	220±10 °C	35±10 °C	Cinta adhesiva azul

<i>Bilcarbonato</i>	PC	290±20 °C	135±10 °C	Pegamento / Fijador de cabello
<i>Traslucido</i>	Bendlay	225±15°C	35±10 °C	Cinta adhesiva azul
<i>Filamento especial</i>	Moldlay	175±10°C	35±10 °C	Cinta adhesiva azul
<i>Fibra</i>		245±15°C	60±10 °C	Pegamento a base de acetato de polivinilo
<i>Alcohol de polivinilo</i>	PVA	180±20°C	45±10 °C	Cinta adhesiva azul
<i>Poliestireno de alto impacto</i>	HIPS	230±10°C	50±10°C	Cinta adhesiva transparente/ fijador de cabello
<i>Soluble en agua²</i>	LAYaPVA T-LAY	230±10°C 240±10°C	55±10°C	Cinta adhesiva transparente/ fijador de cabello
<i>Flexible</i>	LAY- CLOUD	240±10°C	50±10°C	Cinta adhesiva transparente/ fijador de cabello

<i>Soluble en alcohol</i>	ETHY-LAY	240±10°C	50±10°C	Cinta adhesiva transparente/ fijador de cabello
---------------------------	----------	----------	---------	--

*Nota: *Materiales cuya abreviatura no es conocida en el mercado.*

1Materiales de uso principal en la impresión en 3D

2Materiales solubles en agua utilizado para soportes de impresiones complejas

4.1.2 Softwares

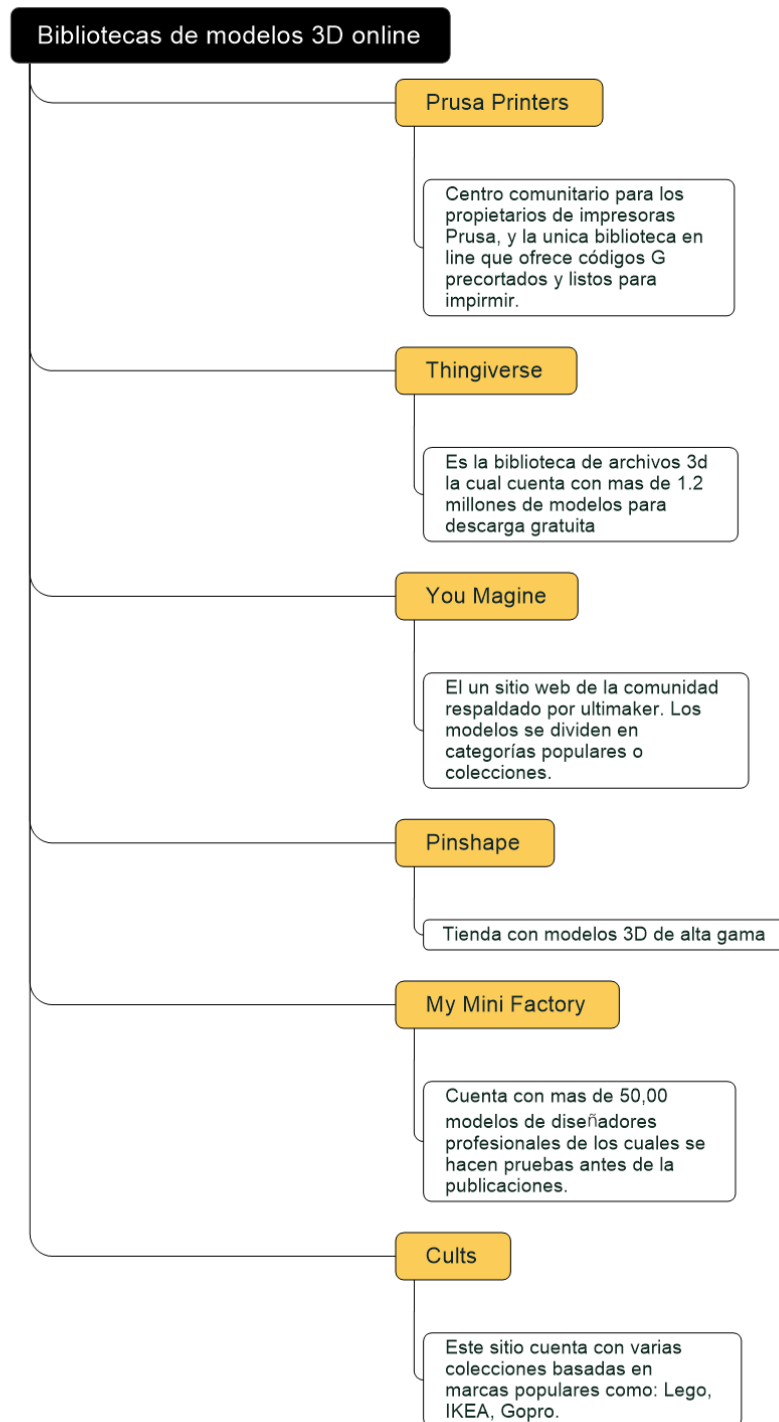
El diseño paramétrico es una forma común de crear modelos estructurales o piezas mecánicas. El objeto comienza como una forma 3D utilizando primitivas básicas y posterior el objeto se extruye, lo que lo convierte en una forma 3D. Obtener un objeto 3D, generalmente es un archivo STL, es el formato de transmisión de datos estándar por excelencia de la industria de creación rápida de prototipos. Además, es el formato que debe utilizar al interactuar con Quickparts. Este formato se aproxima a la superficie de un modelo sólido con triángulos. (3D Systems, 2007)

La obtención de un modelo en 3D cuando no se tiene el programa se puede obtener un modelo 3D a través de una de las siguientes formas.

1. Descargar un modelo 3D de internet
2. Creando tus propios modelos
3. Escaneo 3D de un objeto del mundo real

La forma sencilla de iniciar con la impresión es encontrar objetos 3D disponibles en internet de forma gratuita. Existen una gama amplia de modelos descargable.

Figura 36. Bibliotecas online



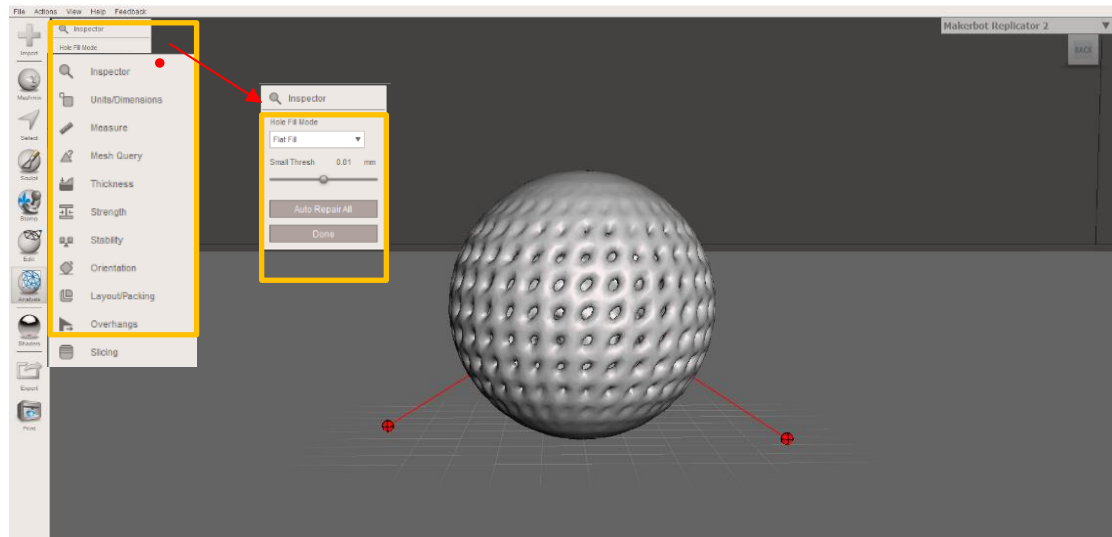
4.1.1.1 Meshmixer

Es uno un software de código abierto de AutoDesk. Que ofrece una gran variedad de herramientas para editar, preparar y mejorar objetos en 3D de tipo malla como. stl y .obj para impresión en 3D. Con Meshmixer no solo es posible optimizar una malla triangular si no también esculpir secciones enteras, estilizar el modelo, extraer detalles y los siguientes análisis los cuales se tienen que asegurar antes de cada impresión.

1. Inspector
2. Unidades/Dimensiones
3. Medida
4. Grosor
5. Fuerza
6. Orientación
7. Diseño
8. Voladizos
9. Rebanado/capas

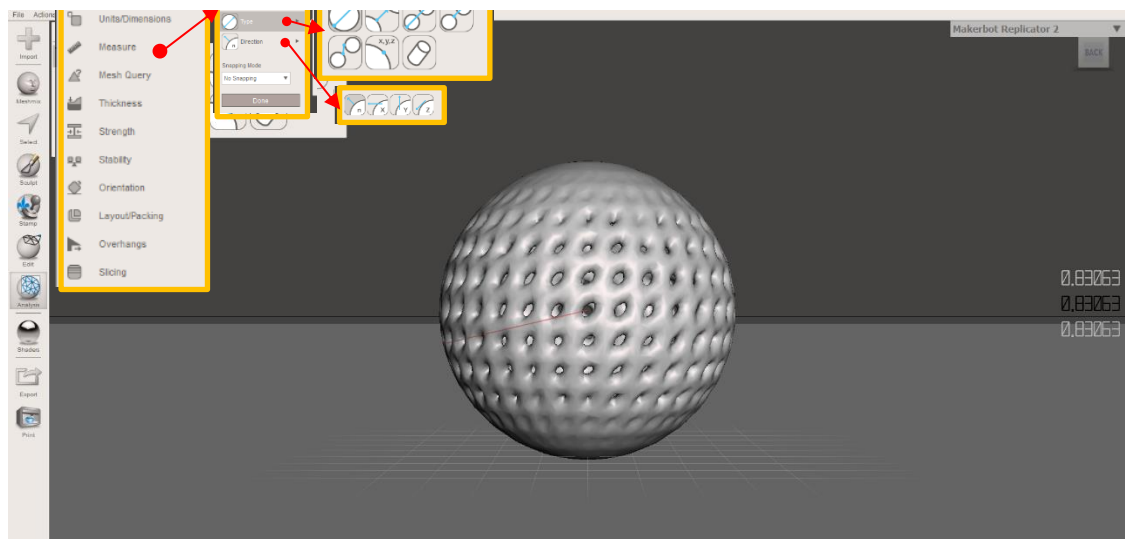
Inspector en la función básica para analizar el modelo en busca de zonas que no se podrían imprimir, por tener un espesor, Angulo o detalle insuficiente.

Figura 37. Analisis de inspector en Meshmixer



Dimensiones le brinda al usuario todas aquellas medidas

Figura 38. Dimensiones en Meshmixer



Esta herramienta tiene dos funciones: visualiza cantidades predefinidas en toda la malla e informa valores numéricos para las métricas en triángulos y vértices individuales. Muestra el modo de color que controla la visualización de malla completa.

Normal de superficie: muestra un mapa de color de las normales de superficies sobre otra. Los valores rojos, verde y azul (RGB) corresponden a valores absolutos de los componen X, Y y Z del vector normal de superficie en la malla.

Posición del vértice: RGB corresponde a la distancia XYZ desde el vértice de la malla hasta la esquina inferior izquierda del cuadro delimitador del objeto.

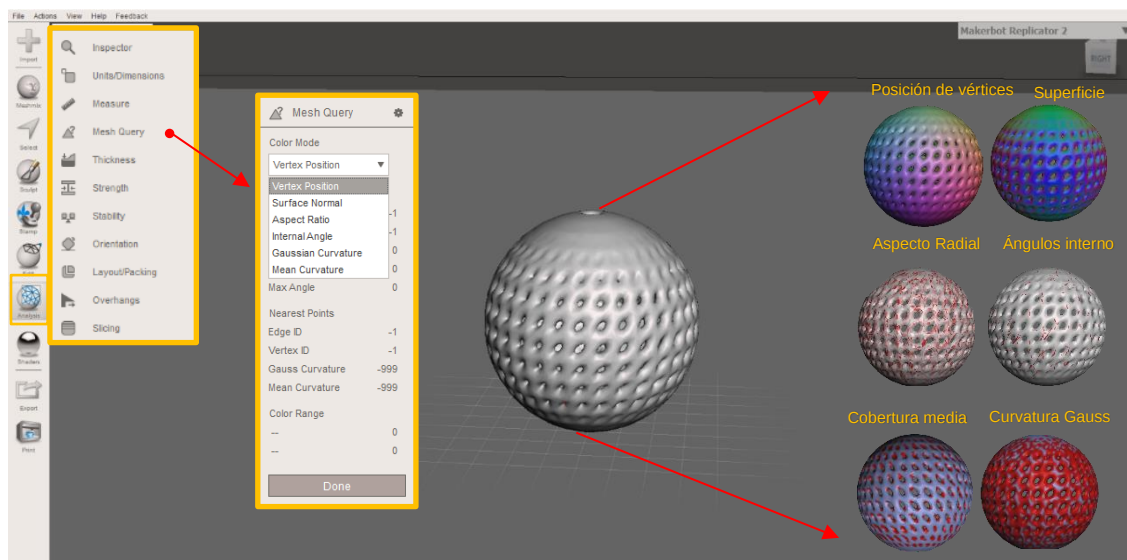
Relación de aspecto: Muestra en rojo que tan lejos está un triángulo de una relación. Esto con el fin de encontrar aquellos que se intersectan, evitando una falla en la impresión.

Ángulo interno: Resalta triángulos con ángulos internos que excedan o aquellos que sean pequeños. El umbral para estos ángulos se especifica en el rango de color en la parte inferior del panel herramientas.

Curvatura gaussiana y curvatura media: Dos medidas de la curvatura de la malla, aquellos que se encuentren en rojos se encuentran lejos del otro. Esta función permite que seleccionar un triángulo para obtener diversa información al respecto.

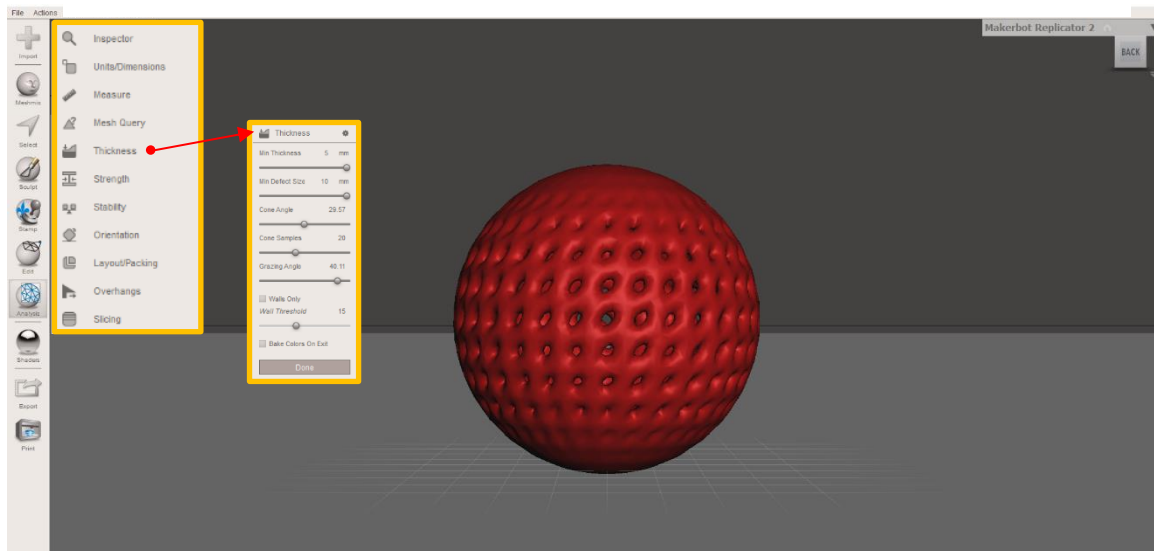
ID del triángulo, ID de grupo de caras, relación de aspecto, ángulo mínimo y ángulo máximo.

Figura 39. Malla y angulos en meshmixer



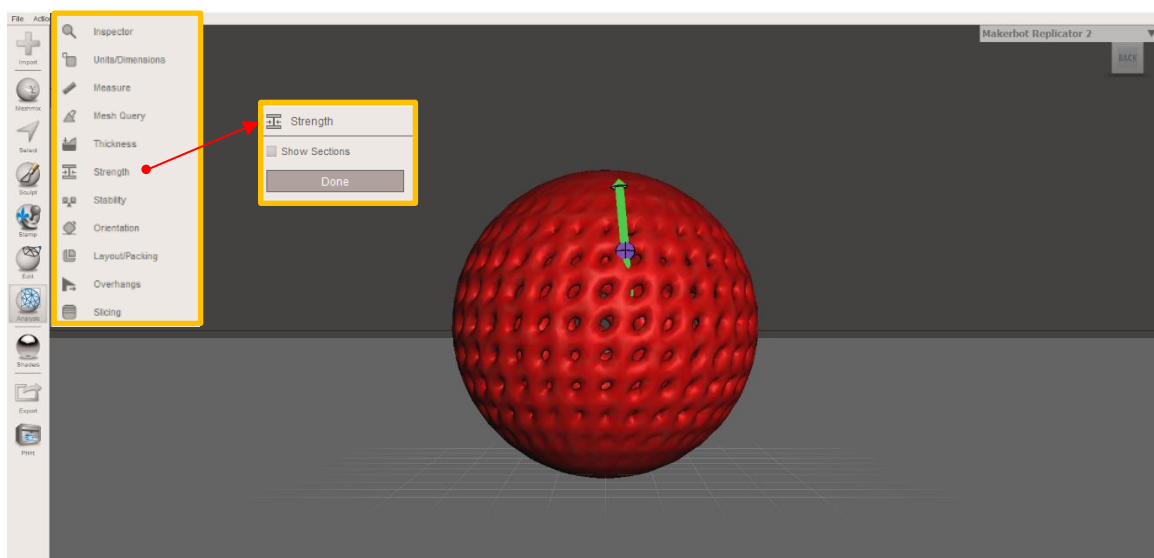
Con este comando puedes establecer el grosor mínimo para una impresión sin configurar, Meshmixer resaltara las áreas finas, las cuales se marcarán con esferas y se podrá editar con diferentes espesores. Un grosor de pared insuficiente puede provocar la pérdida de detalles o incluso un fallido en la impresión.

Figura 40. Grosos en Meshmixer



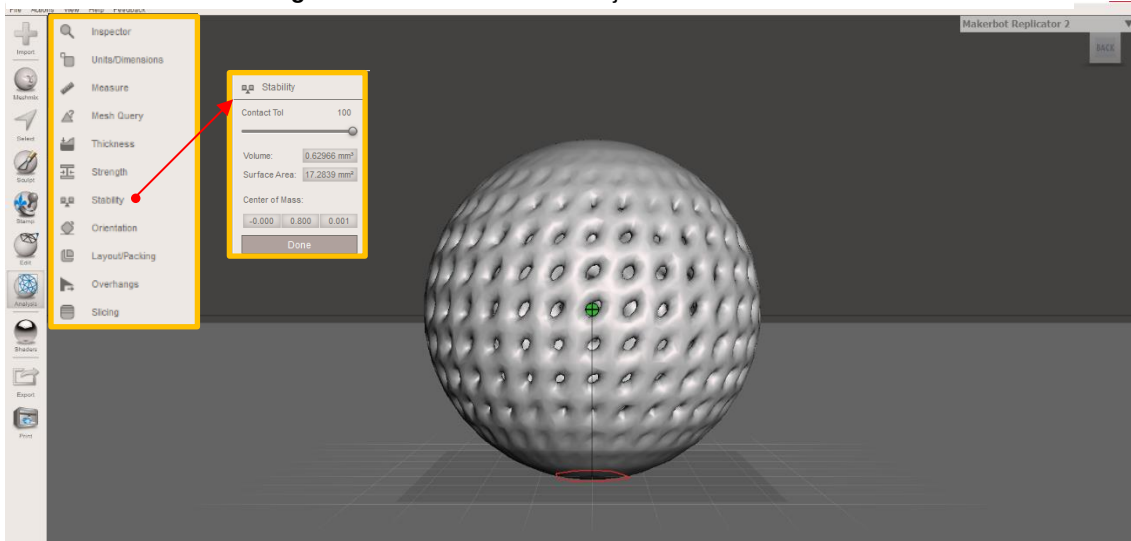
Una herramienta informativa, que le ayuda analizar lugares en el modelo los cuales podrían ser débiles, los cuales podrían ser propensos a flexionarse.

Figura 41. Debilidad en el modelo en meshmixer



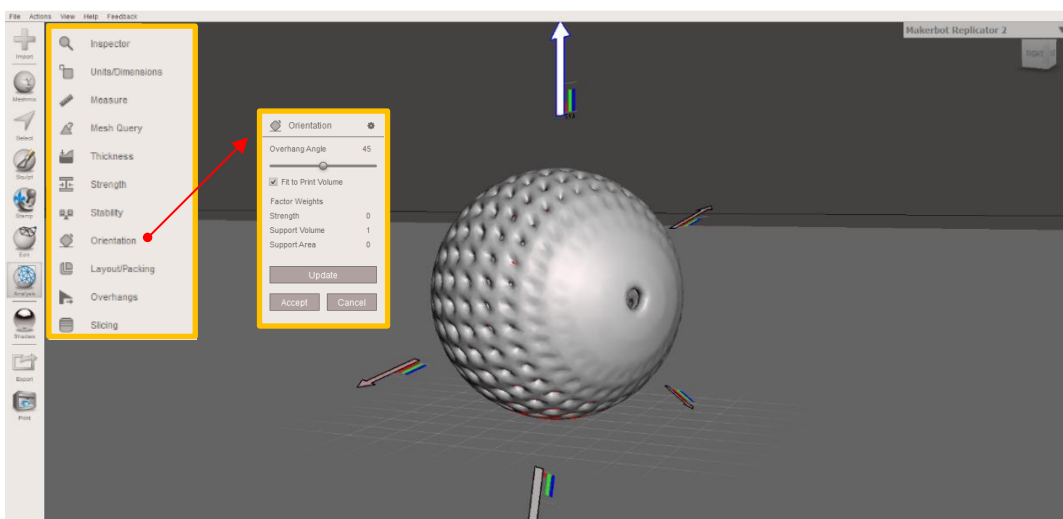
Esta herramienta de Meshmixer calculará el área de superficie y el volumen del objeto. Puede mostrará en rojo el area de contacto con el plano de tierra y si el objeto puede inclinarse. Deslizando el comando contact tol, permite acercar o alejar el objeto respecto al plano de tierra. El punto verde significa que el volumen es estable, el rojo es el centro del objeto.

Figura 42. Estabilidad de un objeto en meshmixer



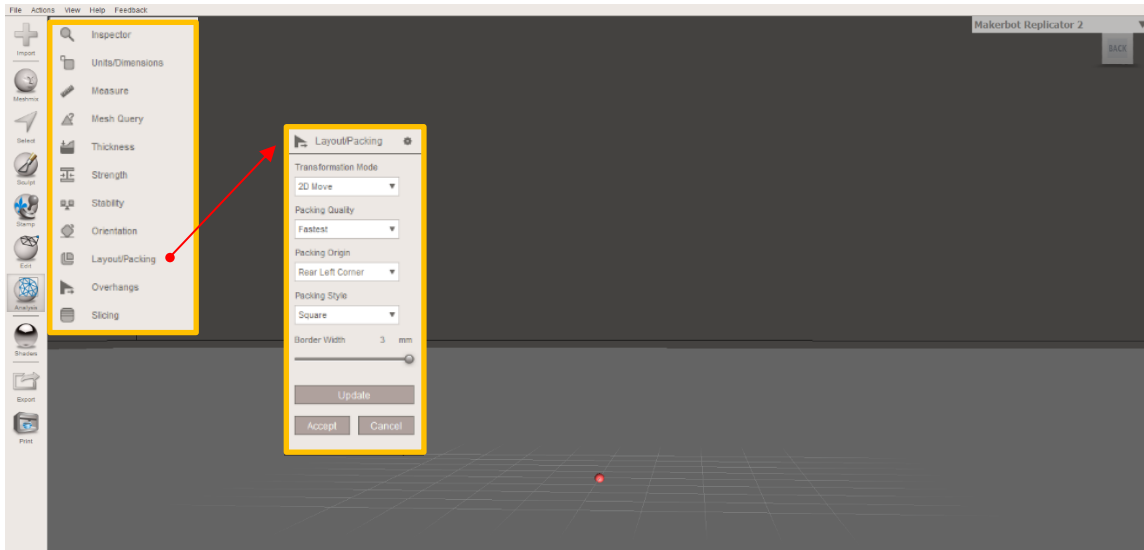
Esta herramienta permite al usuario orientar el volumen, de manera que genere una sombra roja en el volumen para no obtener soportes y que la impresión sea segura.

Figura 43. Estabilidad de un objeto en meshmixer



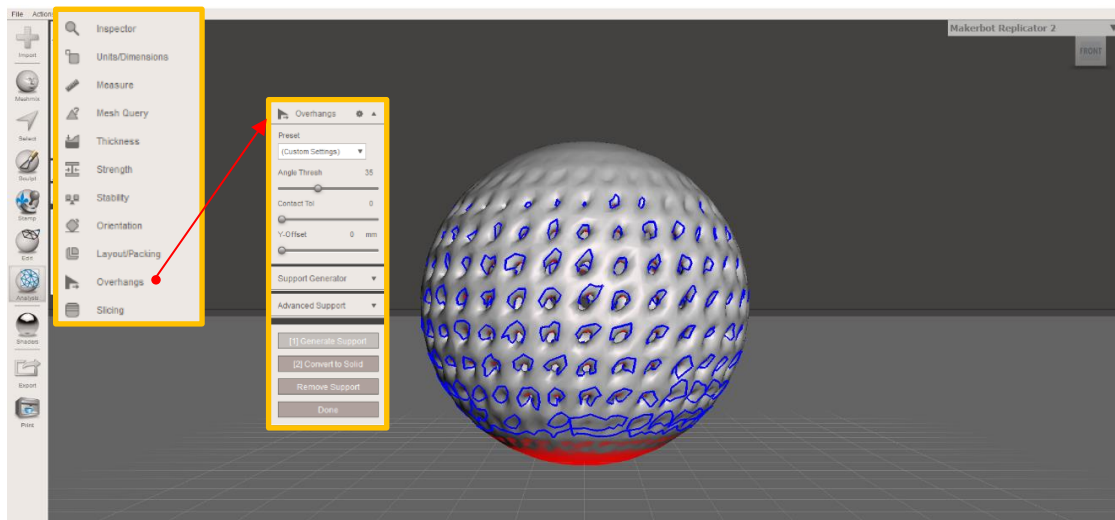
Esta herramienta permitirá diseñar automáticamente el modelo, el modelo se actualizará según la configuración predeterminada. Cuenta con una configuración para ver qué efecto tiene en el diseño.

Figura 44. Rediseñar en Meshmixer



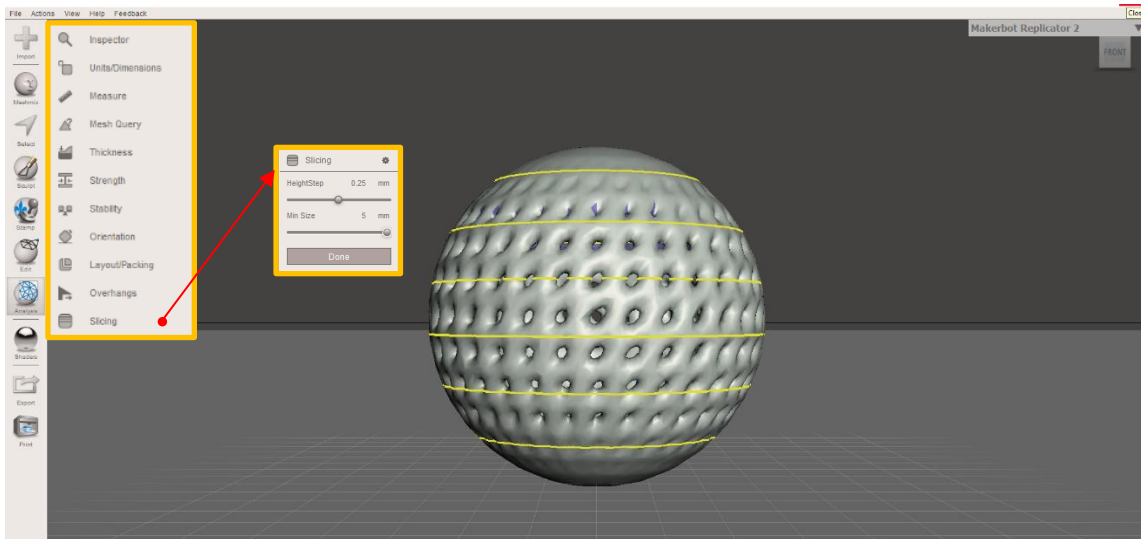
Overhangs ofrece generar soportes automáticamente. Ajusta el angulo de inclinación, para que permita establecer un soporte si se tiene algún voladizo o saliente en el volumen, también detectando los puntos frágiles dependiendo los ángulos y los espesores para cada soporte. Incluyendo aquellos que el usuario por su cuenta desea colocar.

Figura 45. Soportes en Meshmixer



Esta función permite obtener las capas que en automático formara el software, pero también configura las cantidades que el usuario quisiera que el volumen tuviera.

Figura 46. Capas en Meshmixer



Después de los análisis que puedas hacer para tu modelo 3D esta optimizada y lista para la elaboración, ahora está listo para exportar tu objeto.

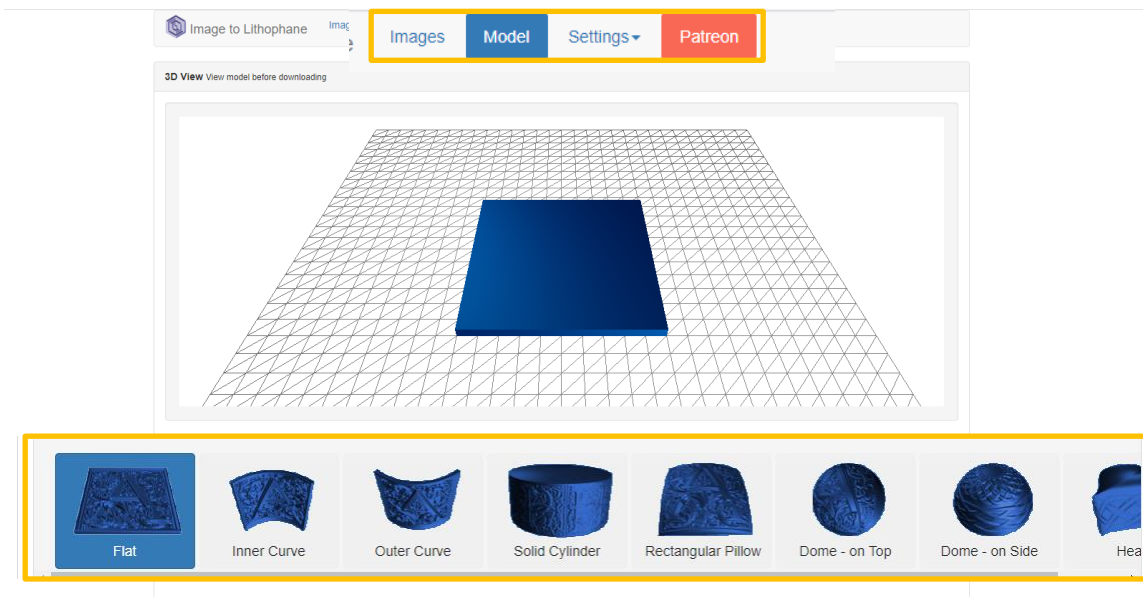
Estos tipos de softwares son de gran utilidad para la elaboración, diseño y modificación, de volumetrías complejas. El fácil manejo y acceso a los softwares de código abierto nos deja como aprendizaje que este tipo de herramientas sean usadas en un futuro para todo uso con una alta complejidad para su elaboración. Al igual que Meshmixer existe una amplia variedad de softwares como 3DP Rocks.

4.1.1.2 3DP ROCK

Es un software gratuito de código abierto u open source que permite a los usuarios el acceso al código fuente del software de impresión y diseño 3D al igual que meshmixer, listo para que el usuario diseñe, modele y edite su volumen a su preferencia. Una de las funciones principales de este software es crear una litofanía de una fotografía en unos sencillos pasos que se observara en las siguientes figuras.

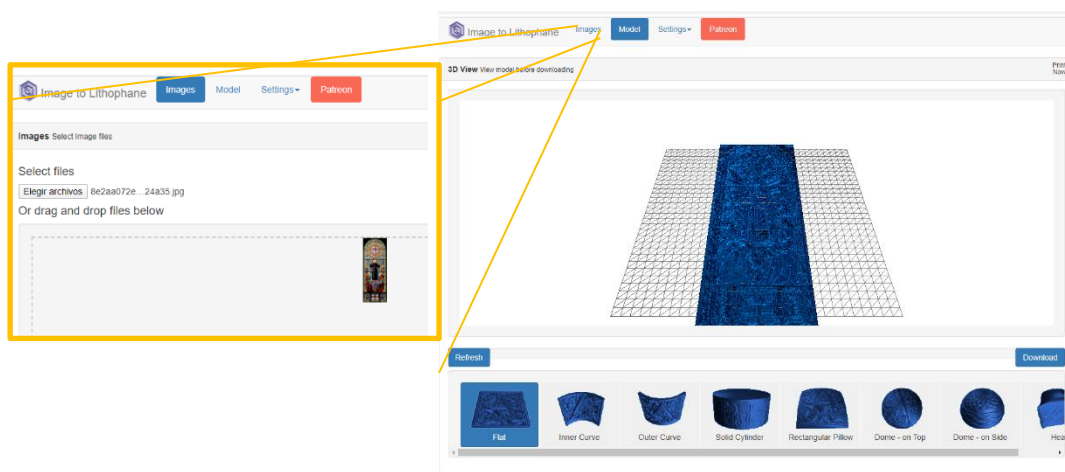
El software lo puedes encontrar de manera online y esta es su presentación, contando con una barra posterior donde agregas la fotografía, configuraciones de esta y en la parte superior te muestra las diferentes opciones que tiene el programa para realizar una litofania.

Figura 47. Creador de litofanía en 3Drock



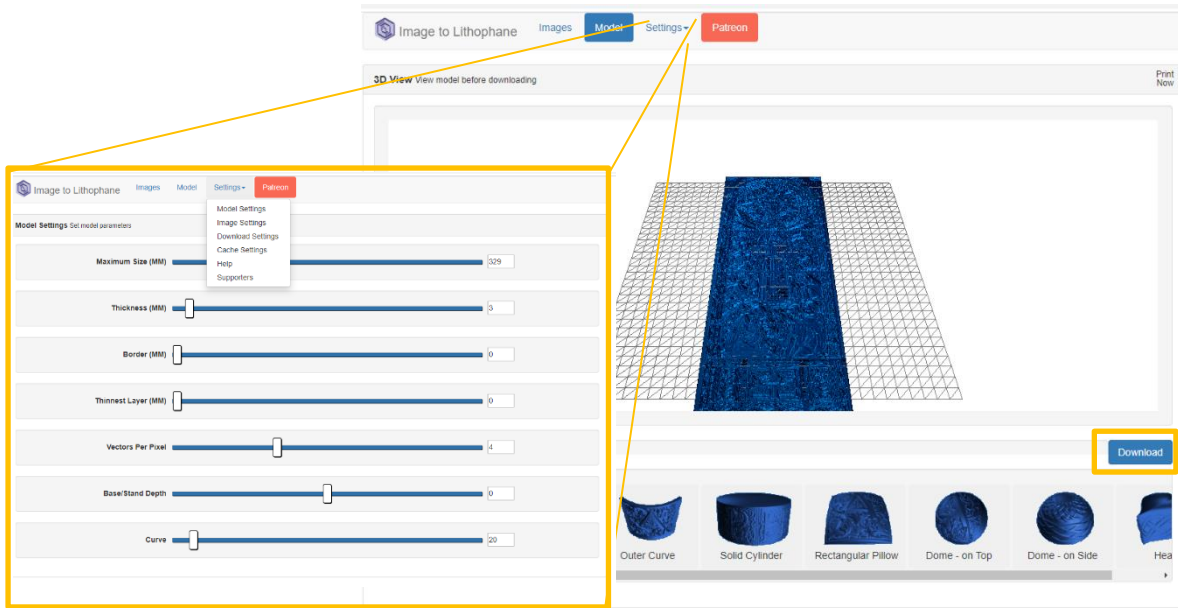
En la barra superior se cargará la imagen y se subirá al programa para realizar la litofania.

Figura 48. Proceso de creación



Después de haber elegido el modelo que quieres para tu modelo, puedes modificar sus parámetros, como el grosor, la base, el delineado, el negativo de la imagen y la curvatura, en caso de que el modelo lo requiera.

Figura 49. Proceso de configuración de litofanía



Después de haber modificado cada dato que requiera la pieza, solo se presionara el botón descargar y el programa lo hará automáticamente en las descargas de tu ordenador, después de obtener el archivo. stl, estará listo para cualquier programa de impresión en 3D.

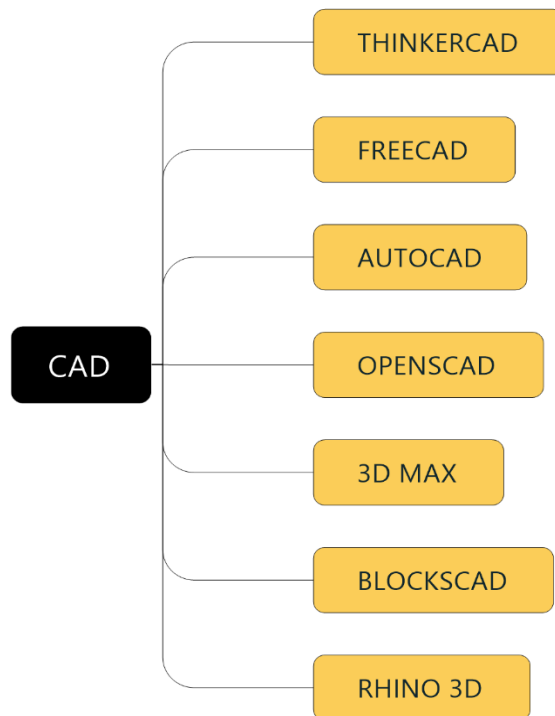
Los servicios de impresión en 3D le permiten cargar sus diseños directamente al servidor al realizarlo. Estos softwares permiten una alta calidad en el modelo.

Software CAD

Para objetos completos o incluso varios componentes que deberían ensamblarse, se debe seleccionar una herramienta profesional, para la creación del modelo. Los usuarios pueden trabajar en Diseño asistido por computadora por sus siglas “CAD” como en Fabricación asistida por computadora por sus siglas en ingles “CAM” análisis de resistencia o visualizaciones.

El diseño asistido por ordenador consiste en el uso de programas de ordenadores para crear, modificar, analizar y documentar representaciones gráficas bidimensionales o tridimensionales (2D O 3D) de objetos físicos como una alternativa a los borradores manuales y a los prototipos de producto. (CAD / Diseño Asistido Por Ordenador, 2020)

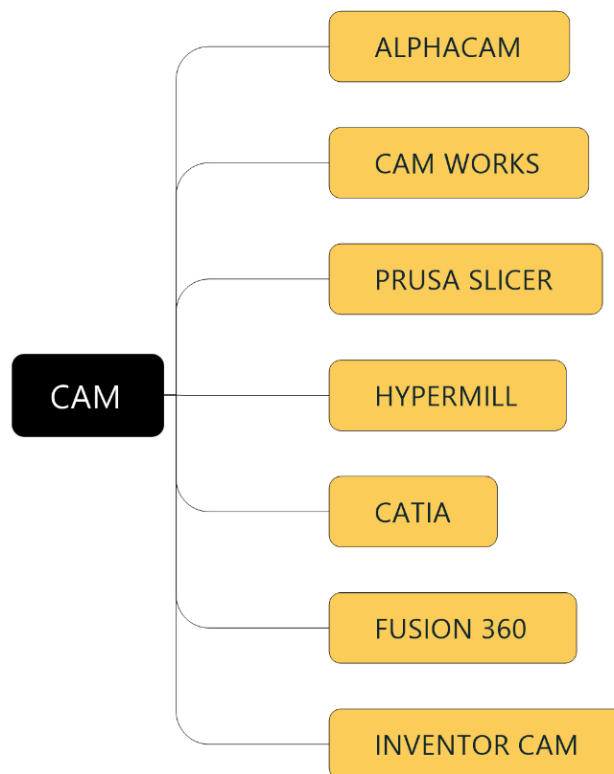
Figura 50. Listado de softwares CAD



Software CAM

La fabricación asistida por computadora implica el uso de computadoras y tecnología de cómputo para ayudar en la fase directa de manufactura de un producto, es un puente entre el Diseño asistido por computadora y el lenguaje de programación de las máquinas herramientas de una intervención mínima del operario. Los softwares CAM prepara el archivo CAD para cortar y maquinar (Software CAM, 2020). Por ejemplo, puede comprobar la geometría por si hay errores, aplicar una compensación de sangría por si hay errores, aplicar una compensación de sangría, establecer la secuencia de corte, añadir cables y aplicar otros parámetros de corte avanzados.

Figura 51. Listado de softwares CAM



4.1.1.3 Prusa Slicer

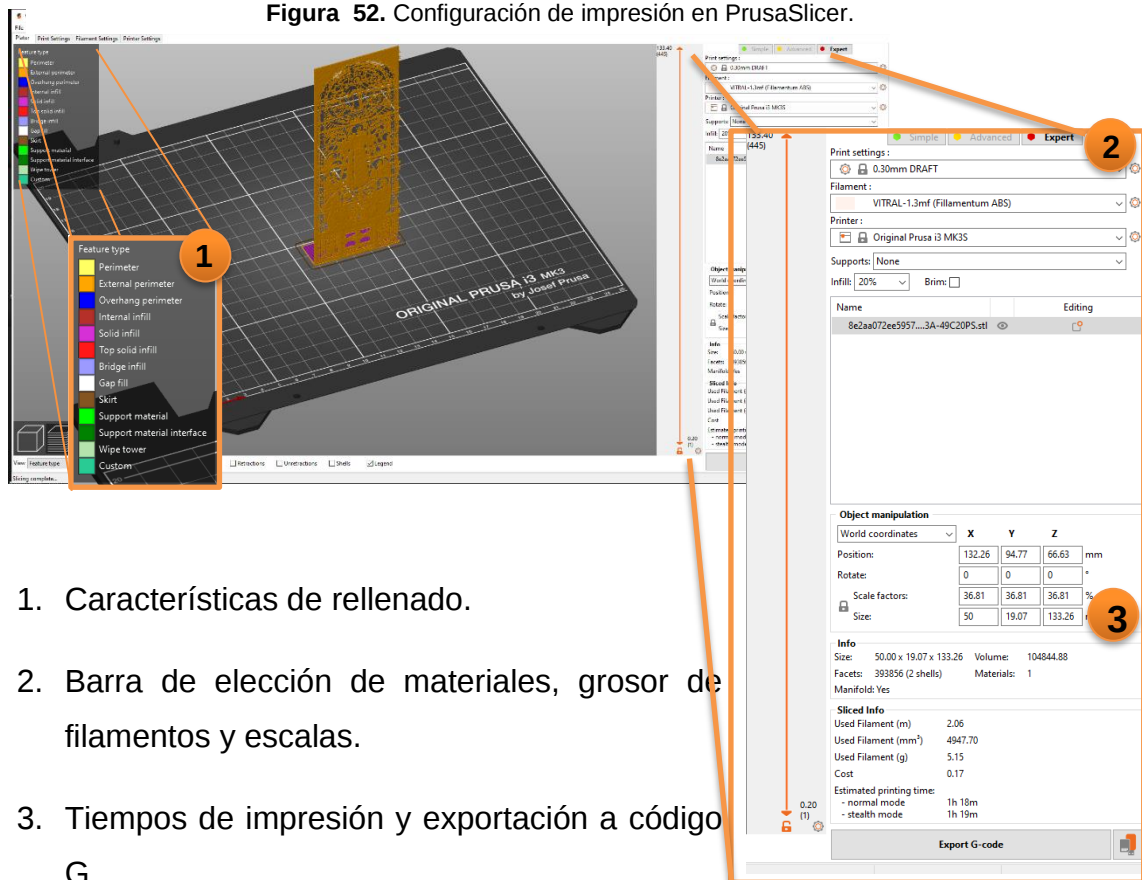
Es un software de laminado diseñado internamente basado en el proyecto de código libre Slic3er. Es un software el cual permite el laminado y visualización del modelo el cual se imprimirá, esta herramienta permite que el usuario modifique relleno, soportes, superficie, interfaz del usuario, exportación e importación. PrusaSlicer te permite crear bloqueadores y ejecutores, para general apoyos en automáticos o seleccionar las áreas específicas que se necesiten con algunas otras características como son:

- Mover, rotar y escalar
- Manipular el objeto
- Lista de objetos, copiar y pegar y jerarquía de escenas
- Guardar archivos 3MF
- Compatibilidad con HiDPI: escala correcta en pantallas de alta resolución
- Manipulación de múltiples objetos.
- Procesamiento en segundo plano
- Reparación de modelos a través de Netfabb
- Limpia en rellenos
- Interfaz soluble

4.1.1.3.1 Proceso de impresión

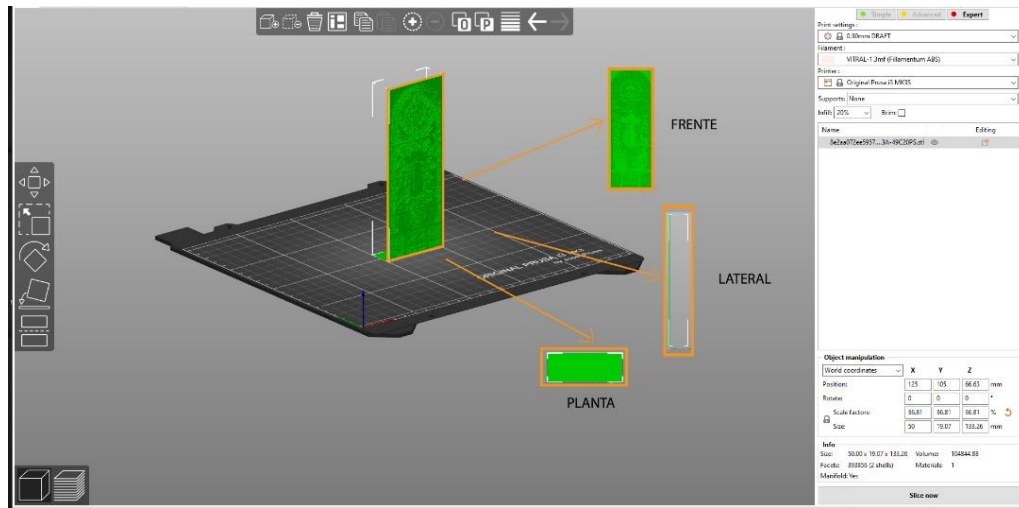
Prusa, ayuda al usuario, con la creación de distintas vistas del modelo y haciendo un rebanado el cual determina el tiempo de impresión. En este se modifican diferentes parámetros como el material, color, grosor, temperatura de la cama, temperatura de extrusor, y cambios en las tiras para agilizar el tiempo de impresión. Como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 52. Configuración de impresión en PrusaSlicer.



El mismo software realiza un formato llamado código G, que es el cual la impresora detecta al momento de ejecutar la impresión, cabe mencionar que este formato es el único que servirá el momento de configurar la impresora. Prusa Slicer cuenta con diferentes vistas par el modelo, como el isométrico, frontal, lateral y planta.

Figura 53. Tipo de vistas en PrusaSlicer

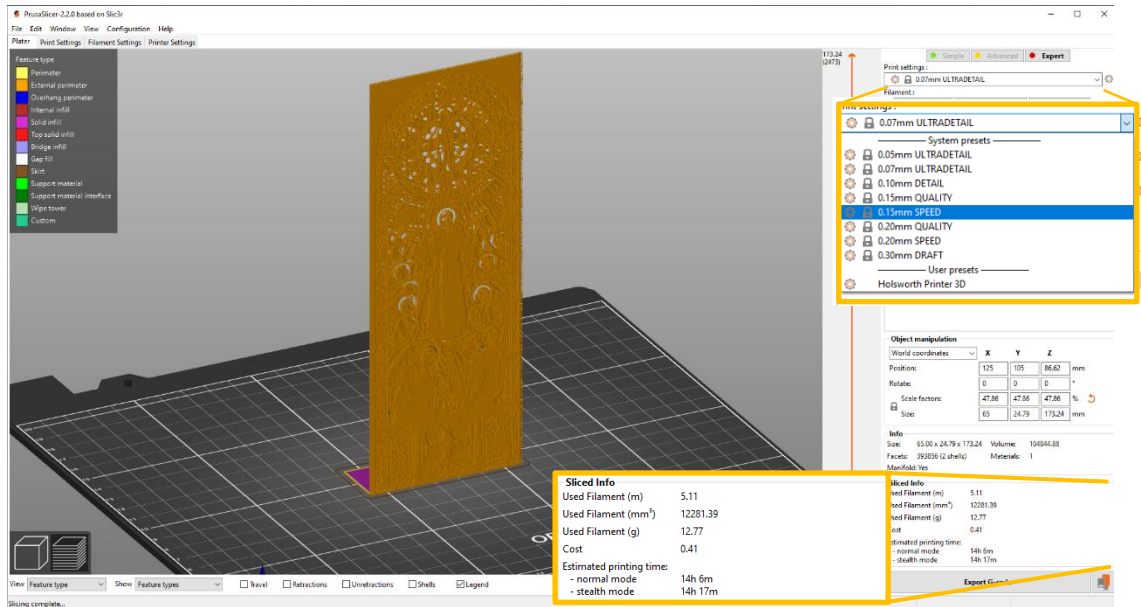


En la cuales muestra las diferentes caras y la apreciación de dicho modelo antes de la impresión. Como se puede observar en la figura posterior.

Otra herramienta que ofrece PrusaSlicer es acelerar el método de impresión con algunas modificaciones en el volumen, teniendo en cuenta que el resultado puede modificarse debido a las capas que tenga el volumen y la finura la cual se quiera obtener. Por ejemplo; el tiempo de esta impresión es de 14 horas con 6 minutos o 14 minutos en modo silencioso.

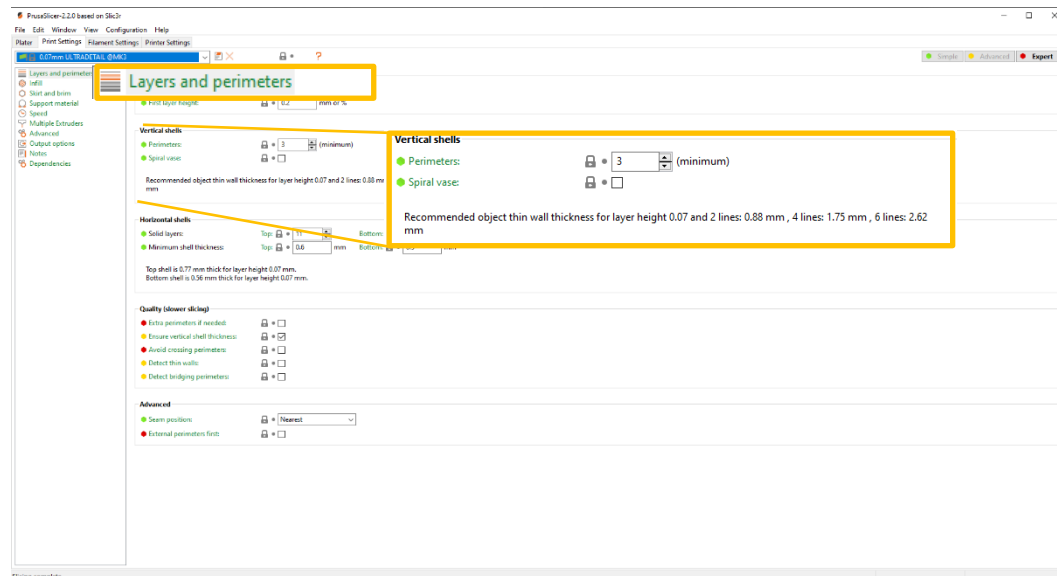
Altura de la capa consiste en ir al menú de configuración de impresión y cambiar los milímetros del detallado, el software brinda 9 categorías desde un ultra detallado a un draft, el cual permite que entre menos detalle tenga menos tiempo de impresión.

Figura 54. Proceso de agilización de impresión



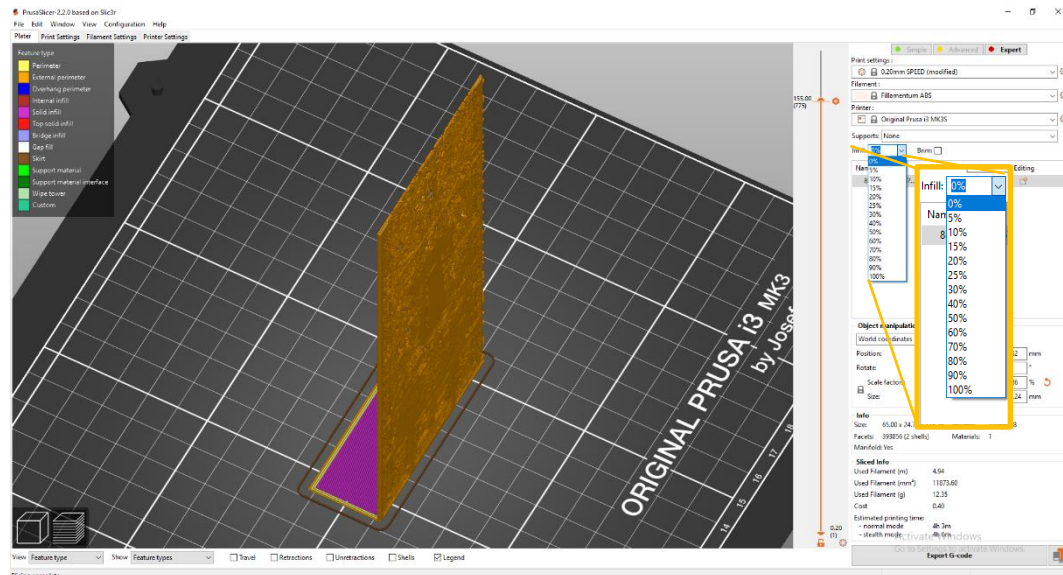
En la segunda parte de la modificación de la impresión se va al menú de impresión, se modificará las capas y perímetro, aumentado o disminuyendo, eso permitirá que el objeto vale su tiempo de impresión.

Figura 55. Capas y perímetros en PrusaSlicer



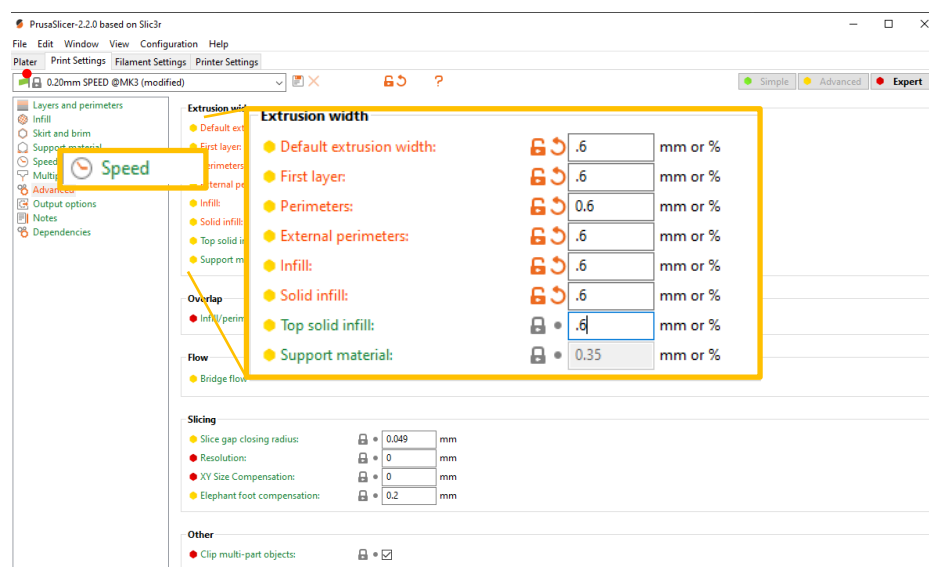
En la siguiente sección de relleno se bajan los porcentajes para así obtener un menor trabado de impresión y que el relleno no cuente con gran espesor.

Figura 56. Configuración de rellenos



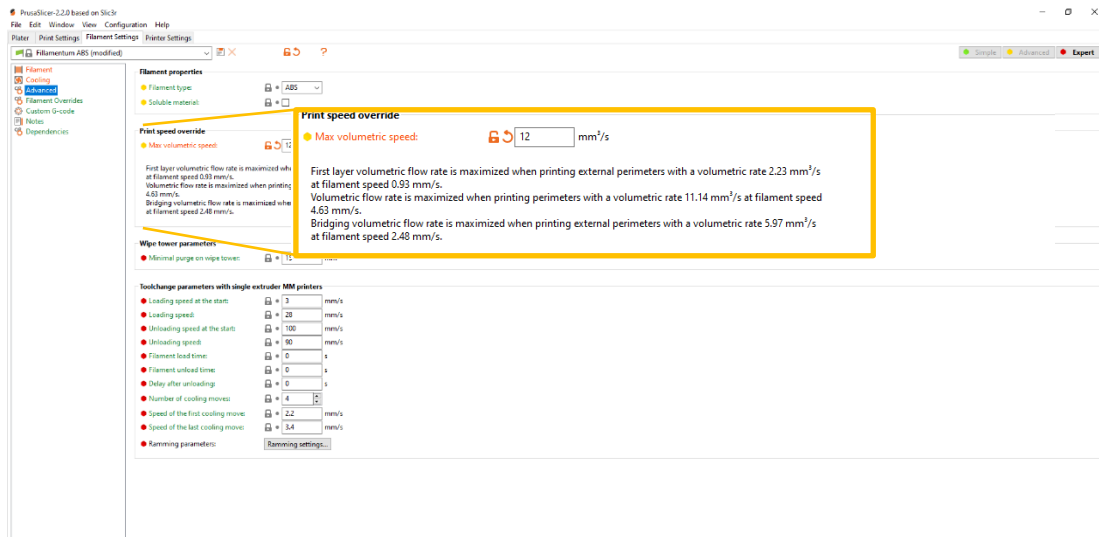
El ancho mayor del extrusor este comando lo encontraras en el área de configuración de impresión en la sección de velocidad, modificando el grosor de extrusión.

Figura 57. Configuración del extrusor.



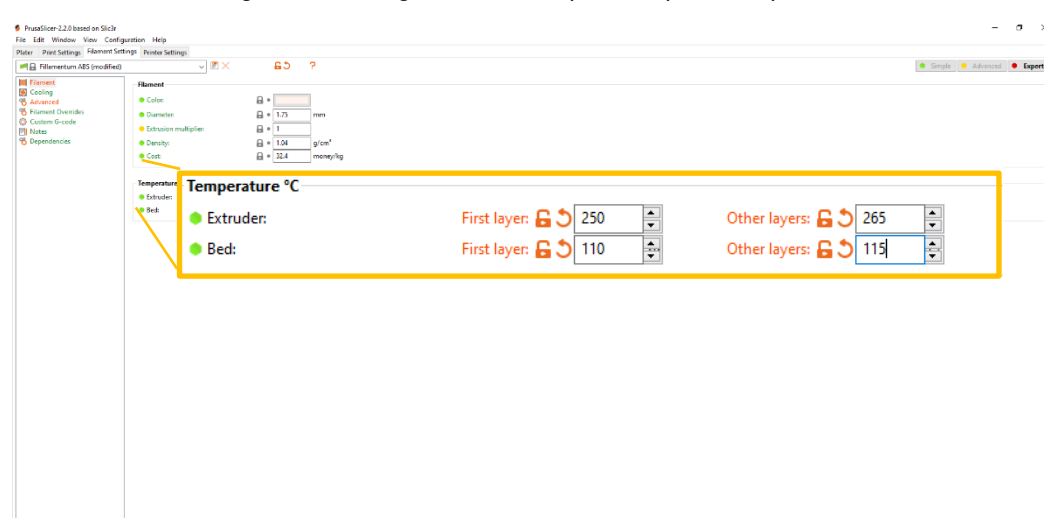
Velocidades altas, este comando brindará al modelo la modificación en la configuración de filamentos, aumentando la velocidad del material con el cual se imprimirá.

Figura 58. Velocidad en la impresión



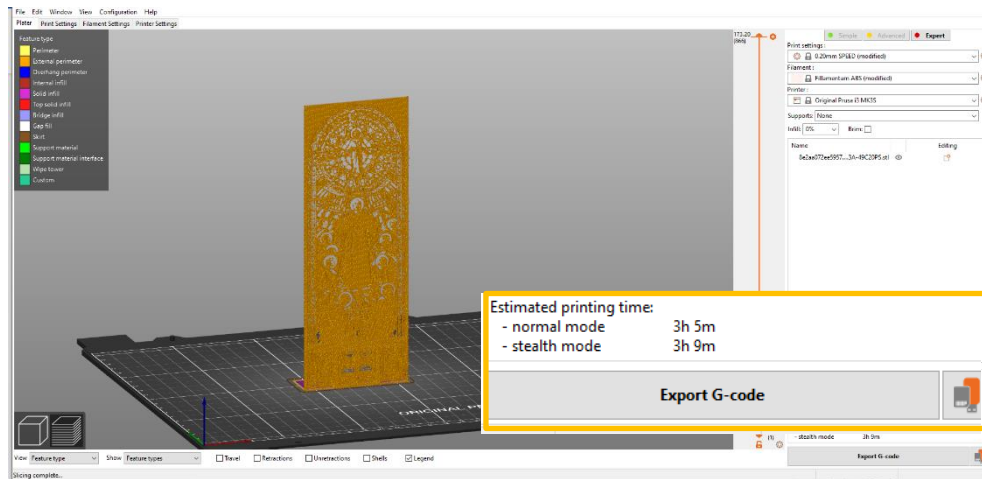
Aumento de temperatura, esto depende del tipo de filamento el cual se utilizará en la impresión, cada uno de los materiales viene con una temperatura la cual se ajusta en dos diferentes en la cama de impresión y el extrusor.

Figura 59. Configuración de temperatura para la impresión



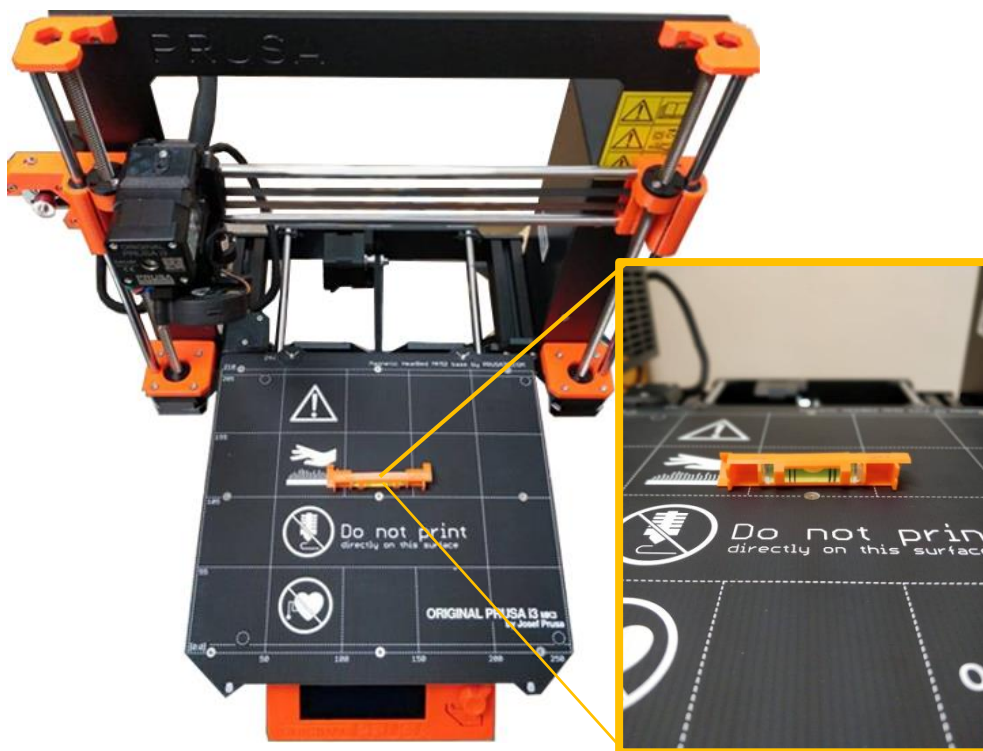
Como resultado a cada modificación que se le aplico al volumen, se obtuvo una disminución de 14 horas con 17 minutos a 3 horas con 9 minutos. con un volumen aceptable para la impresión sin presentar soportes o algún daño.

Figura 60. Exportación a Código G



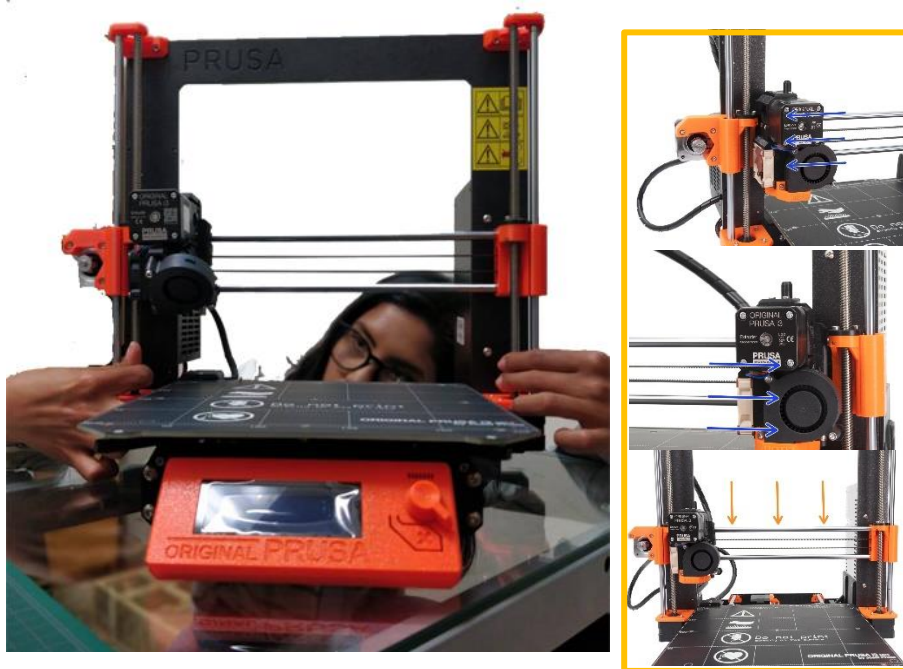
Una vez posicionado correctamente el modelo, se deberá exportar en código g, el cual se guardará en una tarjeta SD, la cual se inserta en la impresora y se configura con la impresora con el tipo de filamento.

Figura 61. Posicionamiento de impresora.



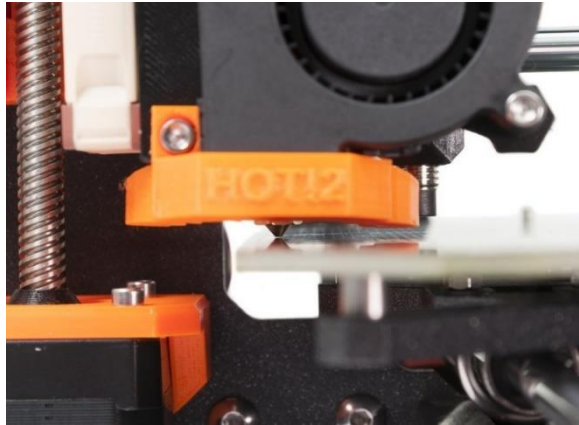
Una vez posicionada la impresora en un lugar anivelado se verificará los ejes X y Y para la calibración de ambas. En esta primera parte los movimientos se hacen con la impresora apagada por lo tanto los movimientos de los ejes se hacen de manera manual en dirección horizontal e izquierda a derecha y de manera vertical rotando las varillas girando en sentido contrario a las manecillas del reloj.

Figura 62. Nivelación de ejes



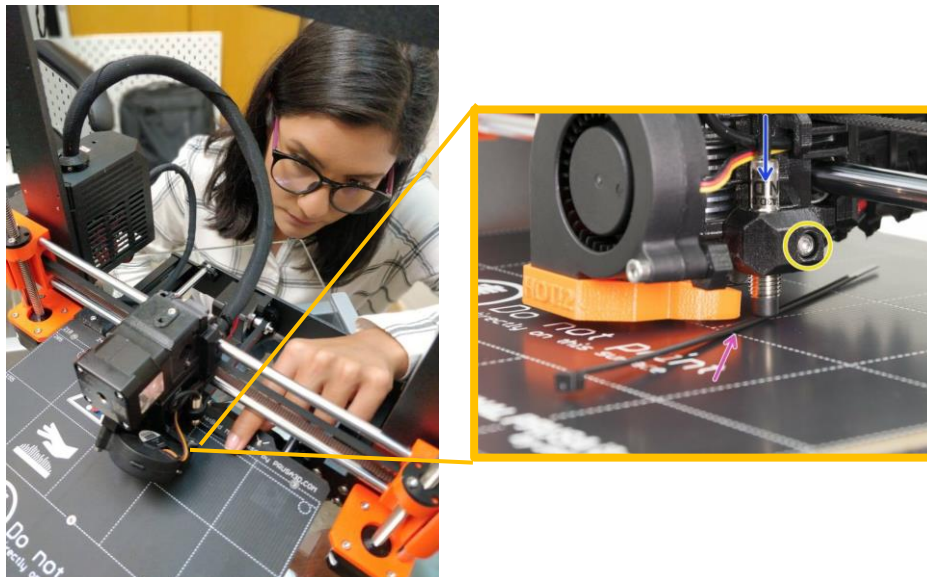
Una vez verificado que los ejes corren de manera continua sin presentar ningún problema, llevando el extrusor lo más cerca a la cama sin tocarla para evitar que en los siguientes pasos lleve la hoja en un movimiento o raspe la cama a la impresión.

Figura 63. Extrusor nivelador la cama de la impresora



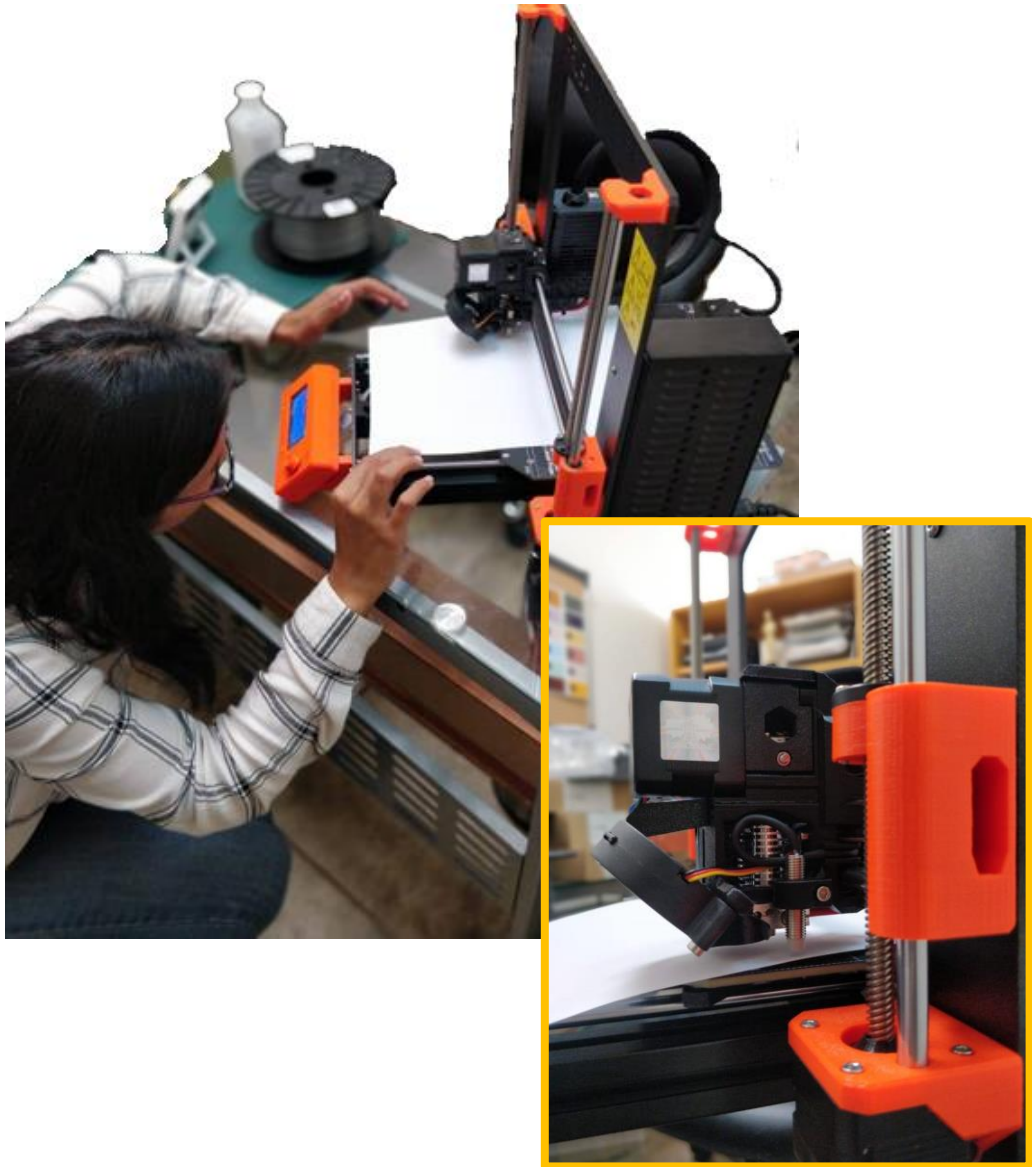
Colocando los ejes en el centro de la cama, con el extrusor en la marca de la cama. Se colocará una brinda entre medio de la cama y P.I.N.D.A para asesorarse que el espacio sea el indicado. De ser lo contrario se tendrá que girar el tornillo y midiendo el espesor.

Figura 64. Verificación de P.I.N.D.A



Una vez lista la impresora, se conectará a la corriente, hará la calibración de fabrica con ayuda del usuario y una hoja blanca, con la comprobación del ajuste de P.I.N.D.A. de tal manera que llevara a cabo un par de movimientos los cuales consisten en recorrer la cama de impresión verificando el nivel de calibración.

Figura 65. Calibración de P.I.N.D.A de manera manual por medio de una hoja blanca



Después de recorrer la cama hará 1 de 9 punto calibrando la cama por ultima vez, antes de comenzar a calentar el extrusor para colocar el filamento, limpiar la cama y colocarla, guiándote por la pantalla de la impresora la cual te indicará la temperatura y el momento indicado para insertar el material, posterior a esto hará la nivelación de la cama con 9 puntos en la cama.

Obteniendo precalentada la cama y el extrusor con el filamento dentro de la boquilla, se iniciará la prueba de impresión. Ajustando Z hasta obtener una impresión con el detalle que se necesite para obtener una buena impresión, esto se verá con la facilidad que se quita el filamento de la cama, el draft que esta ejerciendo al

momento de la impresión. Como se aprecia en la siguiente imagen las diferentes calidades, hasta obtener la fina, con una adherencia la cama de impresión la cual sea fuerte.

Figura 66. Requisitos antes de una impresión

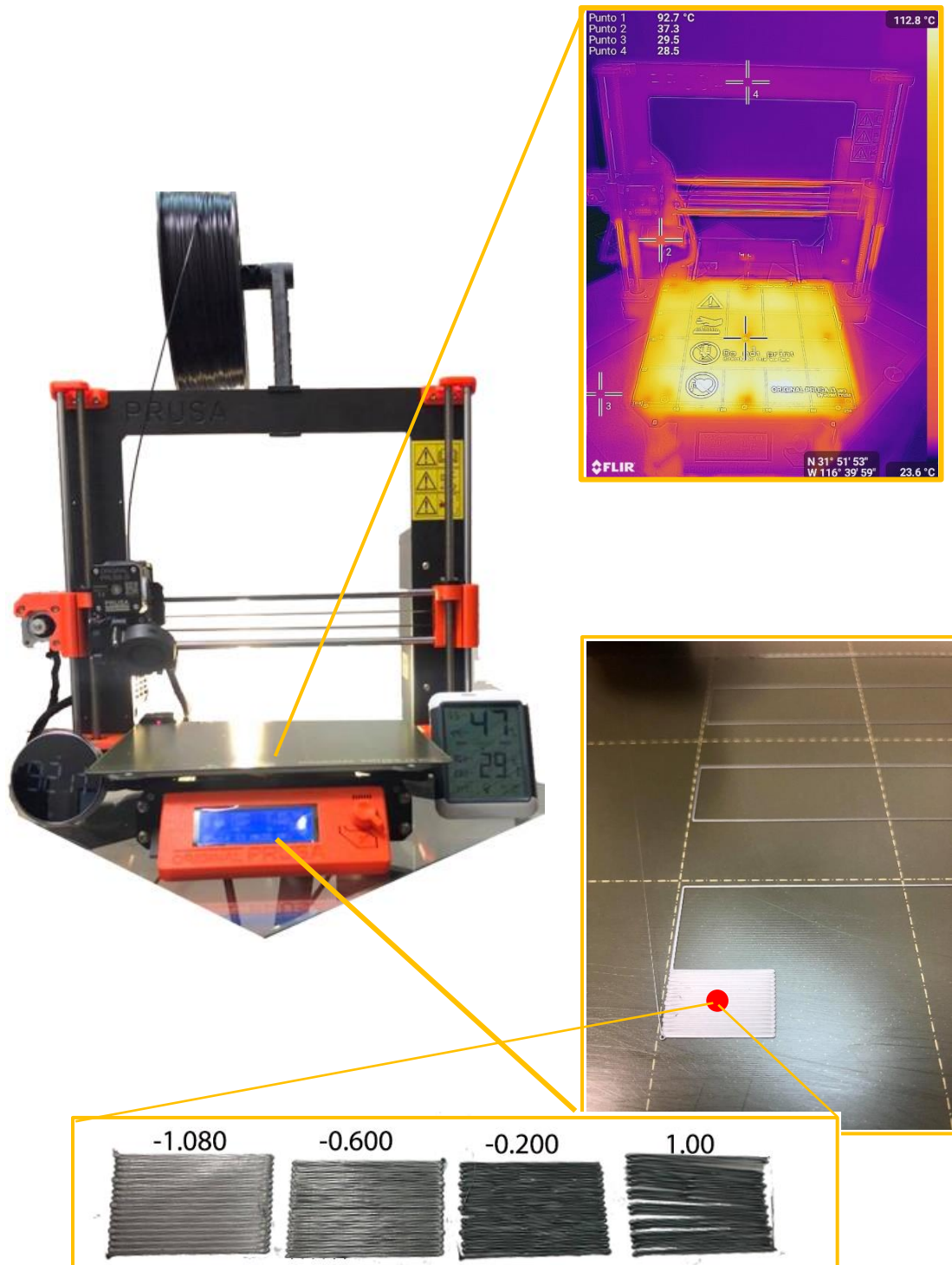
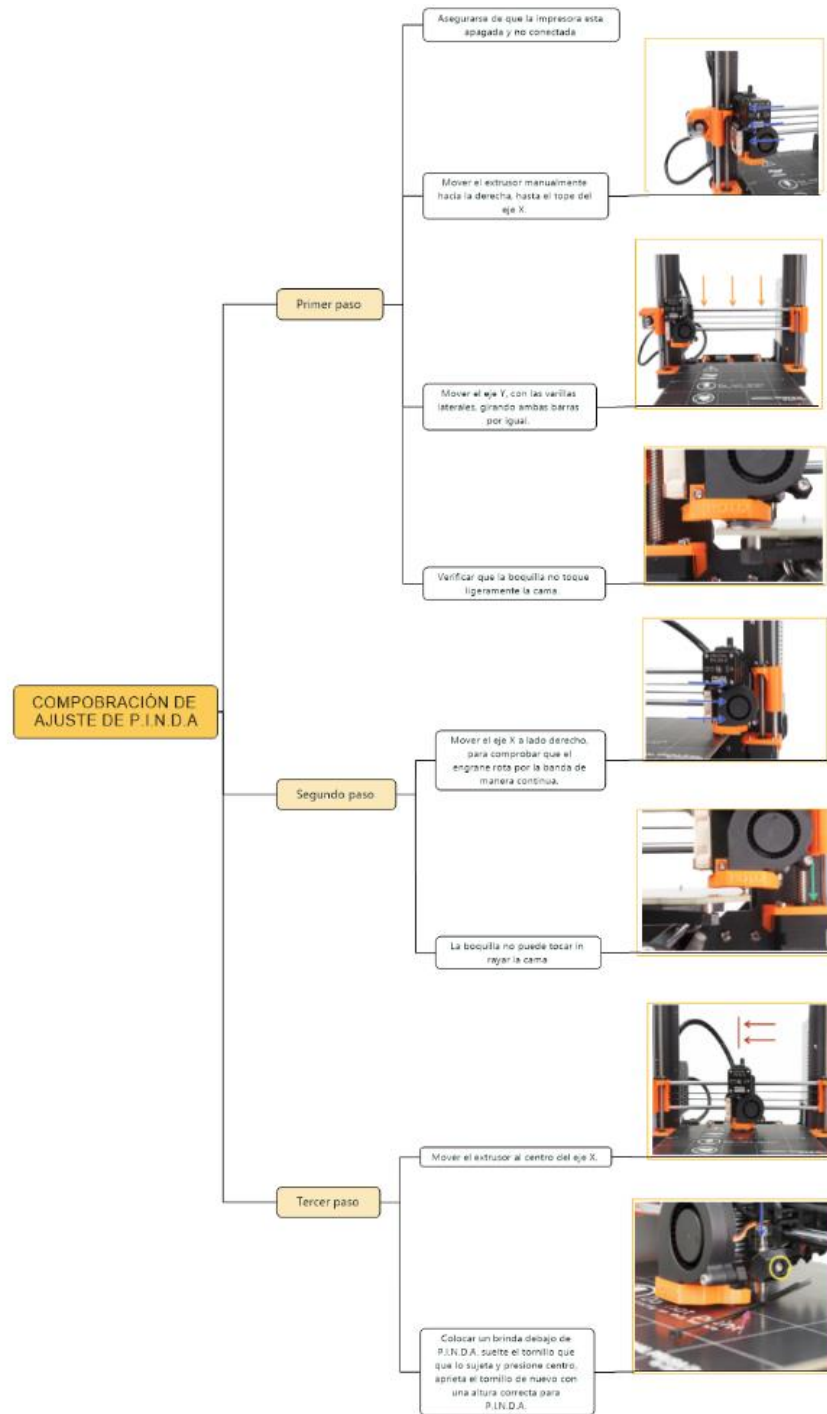


Figura 67. Comprobación de ajustes de P.I.N.D.A. (Elaboración propia)



Capítulo V.

IMPRESIÓN EN 3D COMO INSTRUMENTO DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO

5.1 Impresiones 3D de geometrías complejas

Con el apoyo de dos softwares: Rhinoceros y Grasshopper por medio de parámetros y volumetrías complejas, se elaboró 5 proyectos con el tema de la creación de una lámpara con alguna característica la cual por medio de un algoritmo se logrará cumplir. Estos fueron los resultados de la impresión.

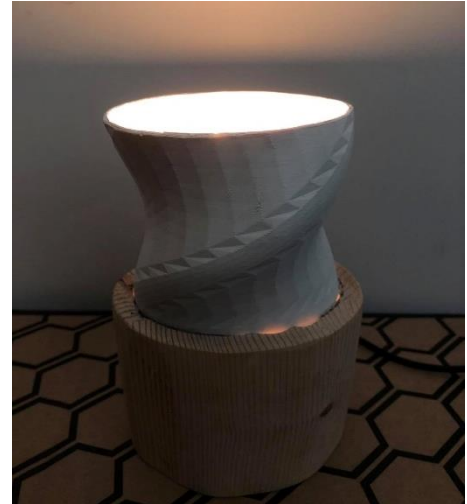
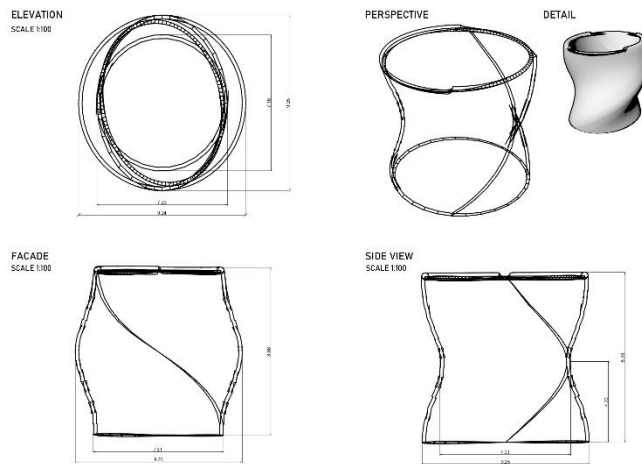
Se inicio con la idea de generar una volumetría compleja, con base de figuras geométricas básicas, de esta manera se insertó, abstraigo y distorsiono dicha figura por medio de parámetros utilizando para el diseño. Para luego obtener un render o boceto de lo que se quería, posterior la impresión con alguna intervención para su mayor visualización.

La creación o tiempo de producción puede tomar semanas o meses crear un prototipo hecho a mano, mientras con ayuda de los softwares solo bastara un par de semanas en crean objetos similares utilizando el diseño paramétrico y la impresión en 3D, teniendo la capacidad de imprimir en diferentes materiales y gran variedad de colores

Resultado 1

El uso de cilindro como base y abstracción de la forma con curvas, hace del modelo un seguimiento obteniendo un espiral.

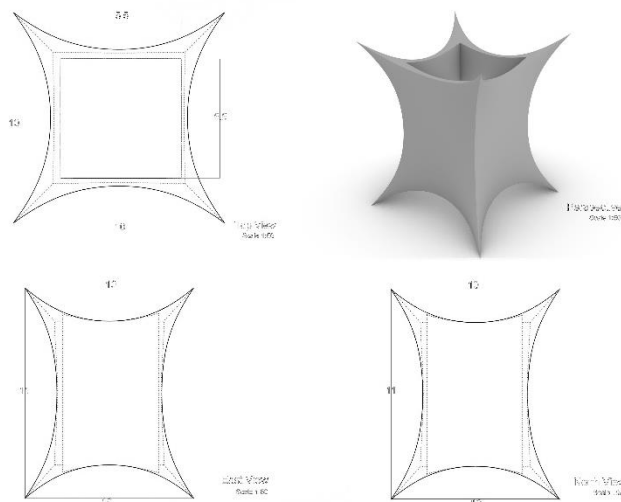
Figura 68. Resultado del uso de diseño paramétrico e impresión en 3D



Resultado 2

La base rectangular con deformación de vértices y una extrusión de la misma base, permite tener los apoyos y el uso de diferentes materiales para la proyección de luz.

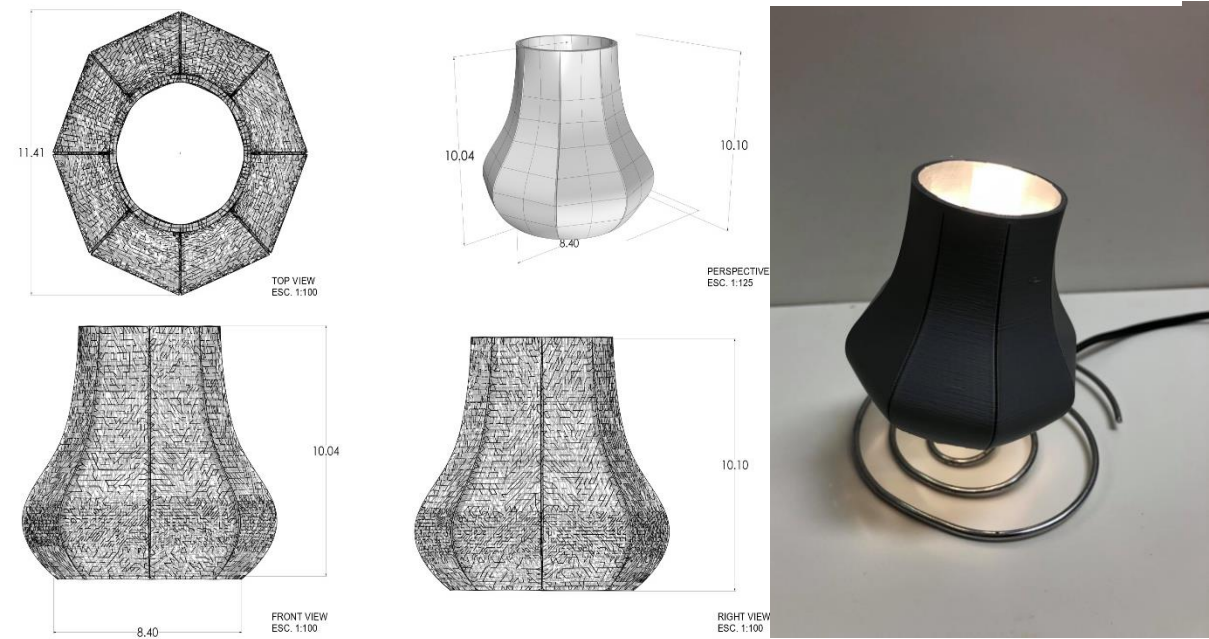
Figura 69. Resultado del uso de diseño paramétrico e impresión 3D



Resultado 3

Con base a un cilindro recto, para obtener el flujo de iluminación, con modificaciones en su única cara, dividido en 8 secciones como un octágono y deformando el cuerpo en la parte media.

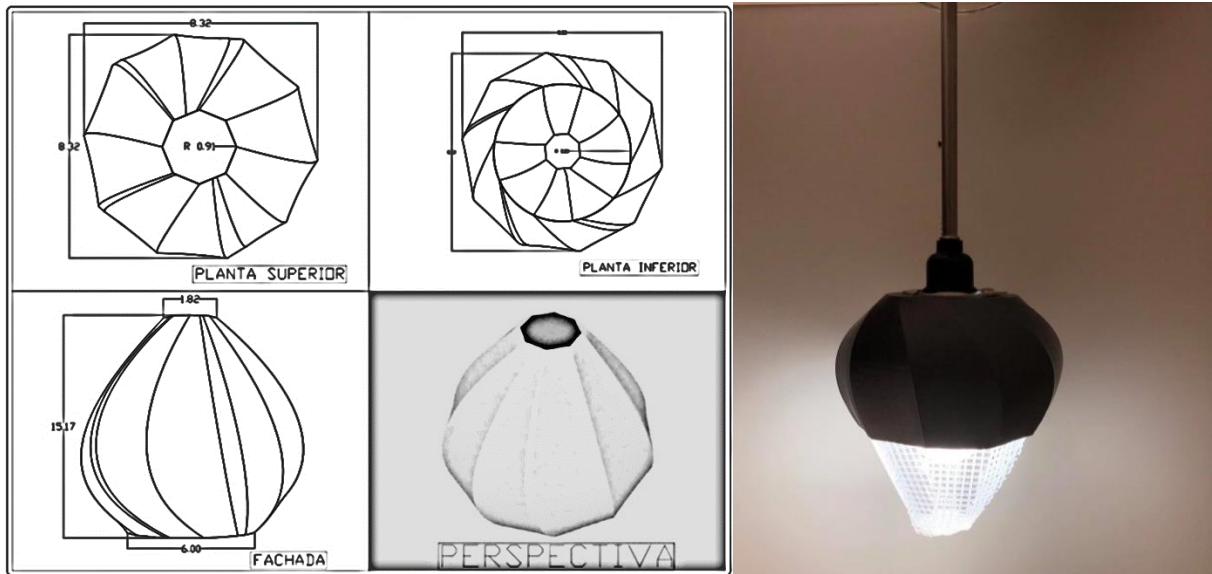
Figura 70. Resultado del uso de diseño paramétrico e impresión en 3D



Resultado 4

Buscando la similitud a un globo aerostático, con la ayuda de un eneágono y aumentando la base para lograr un efecto pensado.

Figura 71. Resultado del uso de diseño paramétrico e impresión 3D



Resultado 5

Con una malla de diagramas de Voronoi: que son los métodos de interpolación, basados en la distancia euclidiana. Se basa en unir los puntos entre sí, trazando las mediatrices de los segmentos de una unión. Esto determina una serie de polígonos en un espacio bidimensional.

El bocetaje de una idea, la búsqueda de parámetros para la similitud de esta realizar, tener opciones sobre una malla, medidas, figuras, amplitudes y perforaciones. La siguiente figura muestra el algoritmo utilizado para el desarrollo del voronoi el cual se utilizó en el volumen que se imprimió con el fin de simular una lámpara.

Una malla con un comando de voronoi ejercidos en 4 rectángulos obteniendo un cubo. De esta manera la malla permitirá que pase la luz de forma que pueda proyectar el mismo Voronoi.



El proyecto llamado San Antonio Abad, consta de una capilla y un convento con sus respectivas áreas de estacionamiento y áreas verdes, en cada área de encuentra una volumetría compleja.

Entre los ventajas que otorga el proyecto está la elaboración de diseños con una alta gama de dificultad y que cuenta con características específicas optimizando recursos económicos y de tiempo. El uso de softwares libres que brindan al usuario la libertad de modificación al código del programa adaptándolo a las necesidades del programador. Se utilizaron los siguientes softwares para estos prototipados.

- Rhinoceros con Grashopper
- Meshmixer
- 3DP Rocks
- Lumion (la visualización en Renders)
- Prusa Slicer

Como volumetría compleja, fue una fuente ubicada en el atrio de la capilla, la cual juega con el diseño, la interacción al usuario y su uso para la captación de agua de lluvias y su reutilización, por medio de una conexión para el riego. En las siguientes figuras se podrá observar los renders de realidad virtual para después pasar al modelo en impresión.

Figura 73. Render de la ubicación de la geometría



Posterior al resultado que se tiene de manera virtual, con las diferentes características que en este caso cuenta la fuente del proyecto. Se continua con el software de impresión y rebanado en este caso Prusa Slicer, en el cual se obtendrá el resultado final no sin antes, un tiempo pre-fabricado de impresión de 2 a 3 horas, con resultados satisfactorios, listo para montar dentro de la maqueta arquitectónica.

Escanea el código para visualizar su proceso de impresión.

Figura 74. Resultado de la impresión



Las celosías como método de protección solar de manera paulatina, en este proyecto se incito al uso de ellas de manera visual como método de diseño y de mejora al análisis de radiación que se realización mediante la exploración del sitio. El diseño que se eligió fue un mallado de un Voronio, por su diseño de manera orgánica el cual nos favorecía al entorno y a los materiales los cuales se optaron

por usar. Las siguientes figuras, demostraran la función que tiene dentro del proyecto arquitectónico dichas celosías, exterior e interior del edificio.

Figura 75. Render del modelo interior y exterior

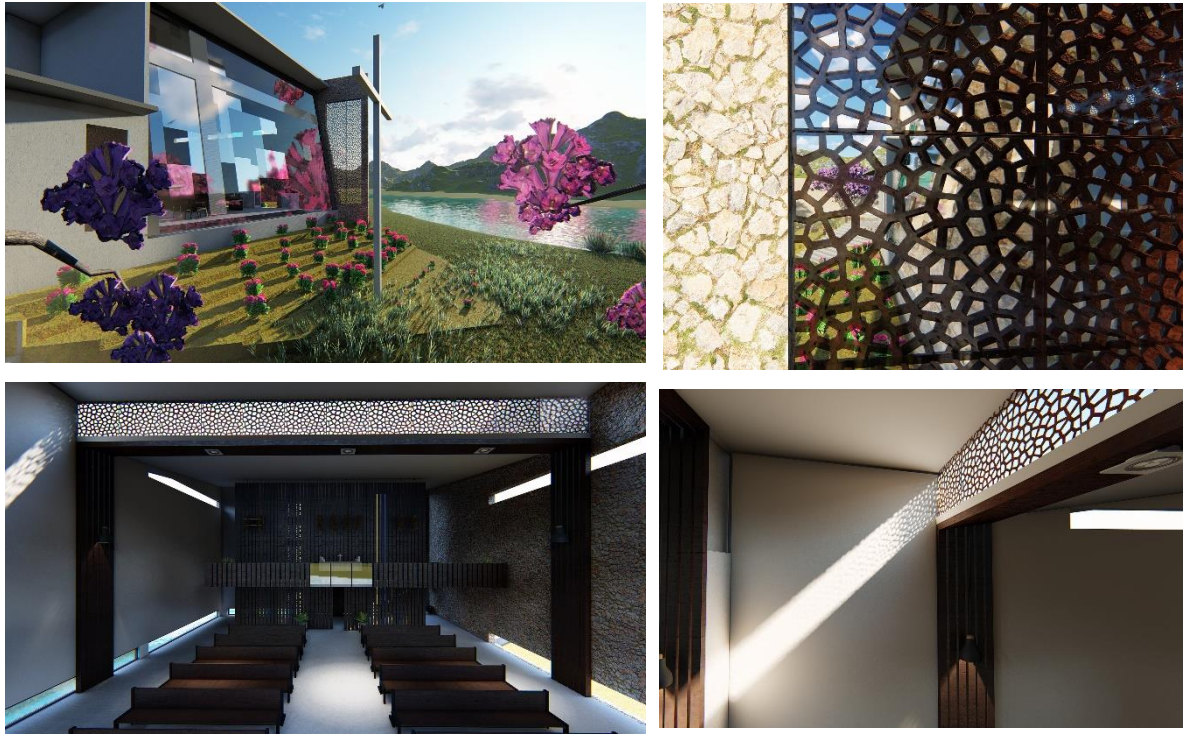


Figura 76. Resultado en impresión en 3D



Como uso de diseño de grabado haciendo uso del nombre del proyecto y su propósito se realizó una puerta que da pie al convento con una imagen de San Antonio Abad, dando volumen y diseño al mobiliario. Este diseño se logró mediante una aplicación de código abierto muy sencillo de utilizar.

después de una impresión exitosa, para obtener un toque de realismo a la maqueta, se realizó un oxido con un poco de pintura.

Figura 77. Renders de Litofanía en el modelo



Figura 78. Resultado en impresión en 3D con un post-acabado

CONCLUSIONES

Es evidente que la tecnología en impresión en 3D ha evolucionado dramáticamente y después de 25 años del desarrollo de su uso, principalmente como técnica de RP, la impresión 3D se está transformando en una revolución en los diferentes campos laborales, como en la arquitectura. Al paso de la historia muchos arquitectos se han encargado de investigar, innovar y experimentar formas, materiales o estructuras nuevas con la utilización del diseño paramétrico e impresión en 3D.

Estas dos áreas se han posicionado como un gran avance innovador y enriquecedor en el proyecto arquitectónico, se generan nuevas y novedosas estructuras, de gran riqueza espacial, donde gracias a una serie de algoritmos generativos, las formas del modelo adquieren la que el usuario desee. En conjunto con softwares de impresión en 3D el modelo se podrá elaborar debido a su rapidez, la ejecución, su fácil manejo y la gran variedad de opciones que los diferentes softwares otorga al usuario.

Las horas que lleva hacer una maqueta de proyecto arquitectónico son el principal ahorro de los profesionales dentro de la industria al utilizar la impresión 3D como una herramienta de trabajo. Uno de los factores de suma importancia dentro de este avance tecnológico es la precisión que se obtiene con la utilización de estas máquinas y que tan posibles es realizar una pieza física de una geometría compleja, las diferentes dimensiones que respetan el diseño o el modelado. Un tercer componente, y no menos importante, es la posibilidad de aplicación de una variedad de materiales interesante, como plásticos, maderas, cementos, metales entre otros.

Lo que si está claro es que se trata de una tecnología que se ira utilizando, cada vez un poco más, hasta lograr convertirlo en un método para la agilidad del trabajo del arquitecto.

La impresión en 3D como método diseño arquitectónico, es una de las tecnologías que en un futuro muy cercano será utilizado por usuarios para realizar actividades a lo largo de cada proyecto en su ámbito laboral como es el diseño y la elaboración de volúmenes complejos, dentro de una maqueta arquitectónica. Se realizo una

intervención en un proyecto arquitectónico el cual se ubicarán algunas geometrías complejas, la cual llevara al usuario a llevar un exhaustivo tiempo extra en cada detalle que se elaboró.

Se analizó cada duda sobre la impresión en 3D y su trabajo. En el cual se obtuvieron resultados favorables para la práctica demostrando que la impresión en definitiva es indispensable en uso de maquetas y volúmenes complejos. Teniendo en cuenta las ventajas que tiene la impresión en 3D como, su rapidez en la obtención de modelos, su fácil manejo, la calidad en la cual se obtienen los prototipos, mayor libertad en el diseño. La libertad del diseño les permite la creación de piezas caracterizadas por una gran complejidad geométrica. Hace algunos años era impensable para una maqueta en términos de tiempo y diseño. Ahora se fabrica de manera sencilla. La elaboración de mallas con un propósito orgánico, impresionantes edificaciones que un corto tiempo o simplemente un diseño de mobiliario que llevaba exhaustivo tiempo, en menos de 40 minutos podría estar listo para montarse dentro de una maqueta arquitectónica.

Una de las características de suma importancia es su bajo costo que en muchas ocasiones en el área de la arquitectura esto es lo que más complejidad tiene al momento de fabricar. Todo el tiempo invertido elaborándolo y el costo que lleva puede ser un factor por el cual la impresión en 3D sea la mejor opción para el uso de las generaciones siguientes, no solo a profesionista sino también a estudiantes obteniendo mejores resultados en la elaboración y presentación de maquetas arquitectónicas.

BIBLIOGRAFÍA

- 3D Systems. (2007). *¿Qué es un archivo .STL? | 3D Systems*.
<https://es.3dsystems.com/quickparts/learning-center/what-is-stl-file>
- Alafaghani, A., Qattawi, A., Alrawi, B., & Guzman, A. (2017). Experimental Optimization of Fused Deposition Modelling Processing Parameters: A Design-for-Manufacturing Approach. *Procedia Manufacturing*, 10, 791–803. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.079>
- Anton, I., & Tănase, D. (2016). Informed Geometries. Parametric Modelling and Energy Analysis in Early Stages of Design. *Energy Procedia*, 85(November 2015), 9–16.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.269>
- Asociado, P. (1981). *SIMULACIÓN JoAl Ffiancl6co Pafina Gaicfi*. 21–50.
<http://www.bdigital.unal.edu.co/15202/1/9799-17373-1-PB.pdf>
- Berchon, M., & Luyt, Y. B. (2014). *9788425228544_Inside*.
- Bogue, R. (2013). 3D printing: The dawn of a new era in manufacturing? *Assembly Automation*, 33(4), 307–311. <https://doi.org/10.1108/AA-06-2013-055>
- CAD / Diseño asistido por ordenador. (2020).
<https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-design-cad/12507>
- Choi, J., Lee, T., Ahn, E., & Piao, G. (2014). Parametric Louver Design System Based On Direct Solar Radiation Control Performance. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 13(1), 57–62. <https://doi.org/10.3130/jaabe.13.57>
- Cowan, M. (2018). *The world's first family to live in a 3D-printed home*. BBC's Victoria Derbyshire Programme. <https://www.bbc.com/news/technology-44709534>
- Daniel Davis. (2013). *A History of Parametric*.
- Eltaweel, A., & SU, Y. (2017). Parametric design and daylighting: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73(October 2016), 1086–1103.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.011>

- Evolución y tendencias del software para impresión 3D*. (n.d.). Retrieved September 25, 2019, from <https://impresiontresde.com/tendencias-software-para-impresion-3d/>
- Foro Economico Mundial. (2016). *The Fourth Industrial Revolution: what it means and how to respond*. Fourth Industrial Revolution. <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
- Fraile, M. (2014). *El nuevo paradigma contemporáneo. del diseño paramétrico a la morfogénesis digital*. 056, 2–11.
- García Alvarado, R., & Lyon Gottlieb, A. (2013). Diseño paramétrico en Arquitectura; método, técnicas y aplicaciones. *ARQUISUR*, 3, 20–31. <https://doi.org/10.14409/ar.v1i3.938>
- García, L. M. (2017). *La parametrización del espacio. Procesos de diseño paramétrico*. 84.
- Gardiner, J. B. (2011). *Exploring the Emerging Design Territory of Construction 3D Printing* [RMIT University]. <https://researchbank.rmit.edu.au/view/rmit:160277/Gardiner.pdf>
- Gebisa, A. W., & Lemu, H. G. (2019). Influence of 3D printing FDM process parameters on tensile property of ultem 9085. *Procedia Manufacturing*, 30, 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.047>
- Heavengrown. (2015). *Diseño Regenerativo*. <http://heavengrown.com/arquitectura-regenerativa/>
- Hildebrandt. (2015). *¿En qué consiste el modelo BIM?* <http://www.hildebrandt.cl/en-que-consiste-el-modelo-bim/>
- How to improve your 3D prints with annealing - Prusa Printers*. (2019). <https://blog.prusaprinters.org/how-to-improve-your-3d-prints-with-annealing/>
- Hurtado, P. (2010). *Metodología y Aplicaciones de Diseño Paramétrico Índice*. Universidad Politecnica de Valencia.
- INEGI. (2001). Sistema de Informacion geografica del Estado de Baja California. In Instituto Nacional de Estadistica Geografica e Informatica (Ed.), *Sistema de Informacion geografica del Estado de Baja California: Vol. 1er Volume*. Instituto Nacional de Estadistica Geografica e Informatica.

- Jones, R., Haufe, P., Sells, E., Iravani, P., Olliver, V., Palmer, C., & Bowyer, A. (2011). Reprap - The replicating rapid prototyper. *Robotica*, 29(1 SPEC. ISSUE), 177–191.
<https://doi.org/10.1017/S026357471000069X>
- Khabazi, Z. (2010). Generative Algorithms using Grasshopper. In Z. Khabazi (Ed.), *Morphogenesisism* (2da ed.).
- Krymsky, Y. (2013). *Responsive Skins An exploration of Paratonic Surfaces in Architecture*. A New Way of Visualizing Solar Radiation.
<https://yazdanistudioresearch.wordpress.com/2013/01/13/a-new-way-of-visualizing-solar-radiation/>
- Kuo, H. J., Hsieh, S. H., Guo, R. C., & Chan, C. C. (2016). A verification study for energy analysis of BIPV buildings with BIM. *Energy and Buildings*, 130, 676–691.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.048>
- López, J. (2016). *Nota del futuro, impresion 3D*.
- Matus, D. (2018). *La impresión en 3D es más vieja de lo que crees: te contamos su historia*.
<https://es.digitaltrends.com/fotografia/historia-de-la-impresion-en-3d/>
- McNeel Associates. (2019). *The History of Rhino*. The History of Rhino.
<https://wiki.mcneel.com/rhino/rhinohistory>
- MX3D Group. (2019). *MX3D Bridge*. MX3D Bridge. <https://mx3d.com/projects/bridge-2/>
- Nieva, A. (2011). La arquitectura bioclimática: términos nuevos, conceptos antiguos. Introducción al diseño de espacios desde la óptica medioambiental. *Dpto. de Arquitectura de La Universidad de Alcalá*, 23.
- Ning, G., Junnan, L., Yansong, D., Zhifeng, Q., Qingshan, J., Weihua, G., & Geert, D. (2017). BIM-based PV system optimization and deployment. *Energy and Buildings*, 150, 13–22.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.082>
- Padre de la impresion 3D, Charles W. Hull*. (2018). <https://blogthinkbig.com/charles-hull-impresora-3d>
- Paniagua, S. (2013). *De RepRap a Makerbot: la impresión 3D y la manufactura personal*. De

- RepRap a Makerbot: La Impresión 3D y La Manufactura Personal.
<https://www.sorayapaniagua.com/2013/02/18/de-reprap-a-makerbot-la-impresion-3d-y-la-manufactura-personal/>
- Papanek, V. (2005). *Design for the Real World: Human Ecology and Social Change* (A. C. Publishers (Ed.); 2da ed.). Academy Chicago Publishers.
- Partners Acadénucis. (2018). *IMPRESORAS 3D*,. <https://www.obs-edu.com/int/blog-investigacion/innovacion/impresoras-3d-que-uso-le-daremos-en-el-futuro>
- R3ALD©. (2019). *¿Qué es la impresión 3D?* Impresion 3D. <http://www.r3ald.com/que-es-la-impresion-3d>
- Ramos, A. (2015). *Índice Sistemas , modelos y simulación*.
- Rincon Paramétrico: *¿Qué es Grasshopper?* (2016). Rincon Paramétrico.
<http://rinconparametrico.blogspot.com/2016/10/que-es-grasshopper.html>
- Rocha, P. (1994). Conceptos básicos, modelos y simulación. *Modelos Digitales Del Terreno*, 122.
<http://www6.uniovi.es/~feli/CursoMDT/CursoMDT.html>
- Sampieri, R. H. (2003). *Metodología de la investigación*.
- Software CAM. (2020). <https://www.hypertherm.com/es/learn/cutting-education/cam-software/?region=NART>
- The Guardian. (2014). *Work begins on the world's first 3D-printed house*. Art and Design.
https://www.theguardian.com/artanddesign/architecture-design-blog/2014/mar/28/work-begins-on-the-worlds-first-3d-printed-house?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com
- Tibaut, A., Babič, N. Č., & Perc, M. N. (2016). Integrated Design in Case of Digital Fabricated Buildings. *Energy Procedia*, 96(October), 212–217.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.125>
- Turrin, M., von Buelow, P., Kilian, A., & Stouffs, R. (2012). Performative skins for passive climatic comfort. *Automation in Construction*, 22, 36–50.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.08.001>

- Turrin, M., Von Buelow, P., Kilian, A., & Stouffs, R. (2012). Performative skins for passive climatic comfort: A parametric design process. *Automation in Construction*, 22, 36–50.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.08.001>
- Winsun. (2016). Demonstrating the Viability of 3D Printing at Construction Scale. *World Economic Forum*, 12.
- Wu, P., Wang, J., & Wang, X. (2016). A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. In *Automation in Construction* (Vol. 68, pp. 21–31). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005>