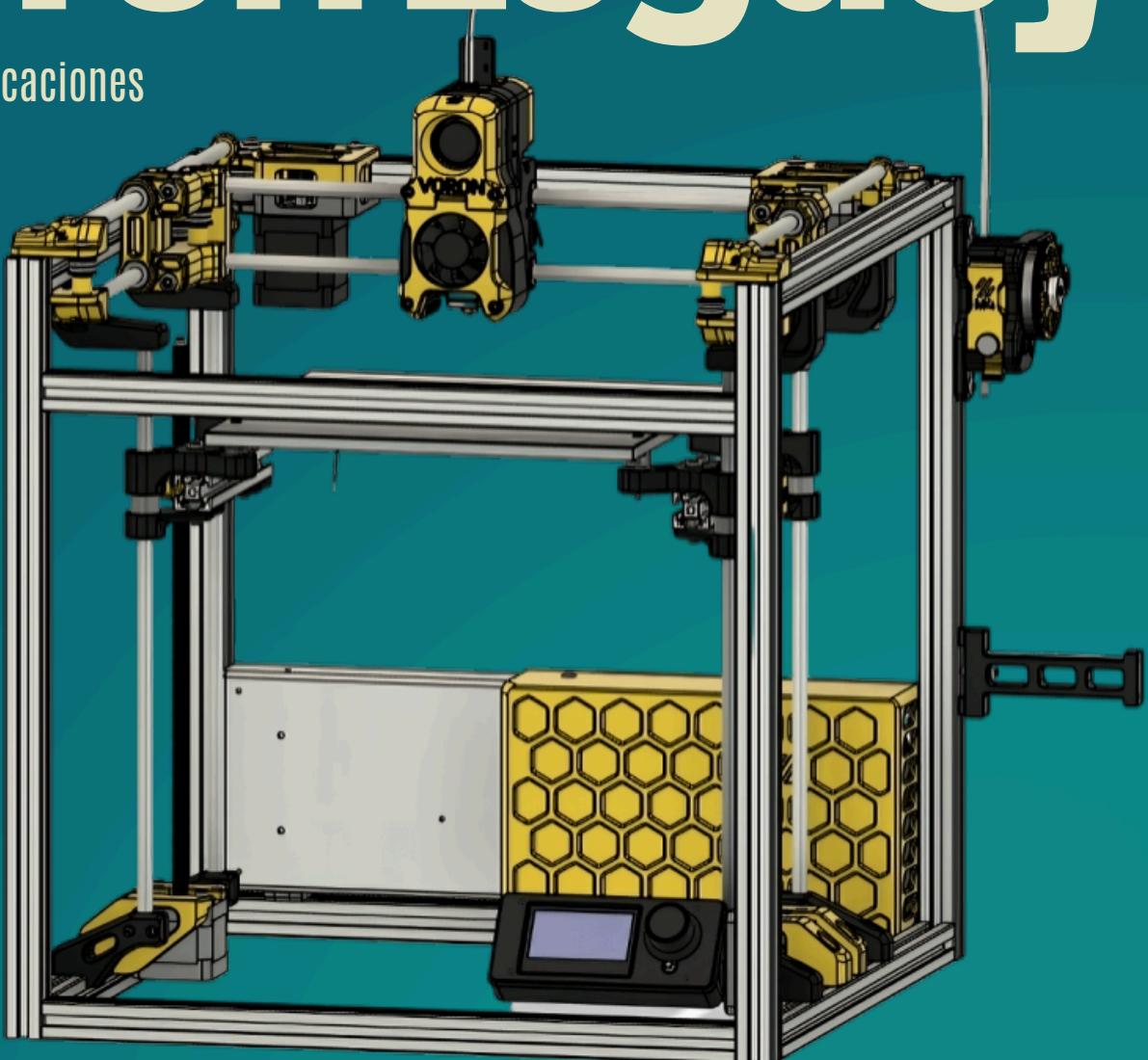


IMPRESORA 3D

Voron Legacy

con modificaciones



Manual de ensamblaje

Guía de ensamblaje de la impresora 3d Voron Legacy incluyendo algunas modificaciones de hardware y firmware

Índice

1. Tabla de simbología	3
2. Introducción	4-7
3. Lista de materiales	8-12
4. Estructura de aluminio	13-17
5. Eje Z	18-23
6. Eje Y	24-41
7. Eje X	42-61
8. Extrusor Voron M4	62-75
9. Conexión eléctrica	76-99
10. Firmware	100-110
11. Calibración	111-113
12. Primera impresión	114-123
13. Conclusiones y agradecimientos	124-125
14. Referencias	126-129



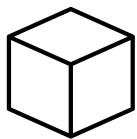


TABLA DE SIMBOLOGÍA

	Indica que este paso es un cambio respecto al modelo original. Sigue las instrucciones cuidadosamente.
	Herramienta Alternativa que puedes usar.
	Recomendación que puedes seguir
	Información relevante que debes considerar antes de continuar.
	Indica un punto de control donde debes revisar que el ensamblaje está correctamente realizado.

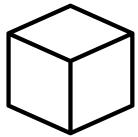
Tabla 1. Símbolos utilizados como ayuda para el manual.



Sugerencia inicial sobre el espacio para el Ensamblaje

Es fundamental contar con un espacio adecuado para el proceso de ensamblaje. Asegúrese de disponer de lo siguiente:

- **Buena iluminación:** Un área bien iluminada facilita la identificación de piezas pequeñas y la realización de conexiones precisas.
- **Mesa totalmente plana:** Una superficie nivelada es esencial para garantizar que las piezas ensambladas queden correctamente alineadas y evitar problemas en la calibración posterior.
- **Espacio suficiente:** Reserve un área amplia para extender las piezas, herramientas y manuales sin riesgo de desorden o daños.
- **Ambiente limpio y sin polvo:** Trabajar en un lugar limpio protege las piezas y componentes electrónicos, especialmente los delicados.



INTRODUCCIÓN

La Voron Legacy es una impresora 3D que ofrece una excelente alternativa para quienes desean construir una máquina de alta calidad sin comprometer su presupuesto, al mismo tiempo que permite una gran capacidad de personalización [1].

El objetivo de este manual es proporcionar una guía técnica contemplando los aspectos básicos para el ensamblaje de la Voron Legacy. Asimismo, se incluyen algunas variaciones tanto en hardware como en firmware respecto a la versión original, con el propósito de continuar desarrollando y enriqueciendo el proyecto dentro de la comunidad.

Sobre el proyecto

Este manual es el resultado del trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero de Control de la Universidad Nacional de Colombia y nace del deseo de aportar no solo una guía técnica, sino también una experiencia práctica, accesible y cercana.

Está especialmente dirigido a la comunidad de habla hispana, buscando reunir en un solo lugar información técnica clara sobre proceso de ensamblaje. Dado que, en muchos casos, gran parte de la documentación se encuentra dispersa entre foros, grupos y repositorios, este manual propone una alternativa estructurada, comprensible y adaptada al contexto de quienes inician o se perfeccionan en el mundo de la fabricación digital.

La intención no es solo documentar el proceso, sino también servir como una herramienta de aprendizaje, consulta e inspiración para estudiantes, creadores, entusiastas de la tecnología y futuros profesionales.

Sobre el Autor



Juan José Sánchez Mejía

Soy un apasionado por la tecnología y el aprendizaje práctico. Este manual representa la culminación de mi proyecto de grado y ha sido una valiosa oportunidad para aplicar conocimientos, fortalecer mis habilidades técnicas y creativas, y continuar aprendiendo de manera constante.

Contacto: [LinkedIn](#)

Correo Electrónico: juanjosesanchez212@gmail.com

Además de este manual, te recomiendo aprovechar los recursos que la comunidad Voron ofrece para enriquecer la experiencia de ensamblaje y personalización.

Únete al Discord de la Comunidad, este es un lugar ideal para resolver cualquier duda, compartir tus avances y obtener consejos de creadores experimentados. Aquí encontrarás un entorno colaborativo donde se comparten soluciones, modificaciones y experiencias que pueden ser de gran ayuda durante el proceso de ensamblaje.



<https://discord.com/invite/voron>

Consulta el Repositorio de GitHub, principalmente encontraremos allí los archivos de diseño. Además, podrás ver el trabajo colaborativo de la comunidad y contribuir a mejorar el proyecto.



[GitHub - VoronDesign/Voron-Legacy](#)

Consideraciones para imprimir las piezas

Para la construcción de esta impresora, será necesario contar con las piezas impresas en 3D. Si no tienes acceso a una impresora 3D, puedes buscar un servicio local o en línea especializado en impresiones 3D. Asegúrate de que utilicen ABS como material con las siguientes configuraciones de impresión:

Parámetro	Valor
Altura de capa	0.2 mm
Ancho de extrusión	0.4 mm
Porcentaje de relleno	40%
Tipo de relleno	Grid, Gyroid, Honeycomb, Triangle, Cubic
Número de paredes (wall count)	4
Capas superiores/inferiores sólidas	5
Soportes	Ninguno (NONE)

Tabla 2. Parámetros recomendados para la impresión de piezas. Adaptado de [2].

Accede al repositorio oficial del proyecto Voron en GitHub (mencionado en la página anterior) y descarga los archivos siguiendo los pasos que se indican a continuación.

Primero, dirígete a la sección “Assets” del repositorio y localiza el archivo denominado Voron-Legacy.zip.

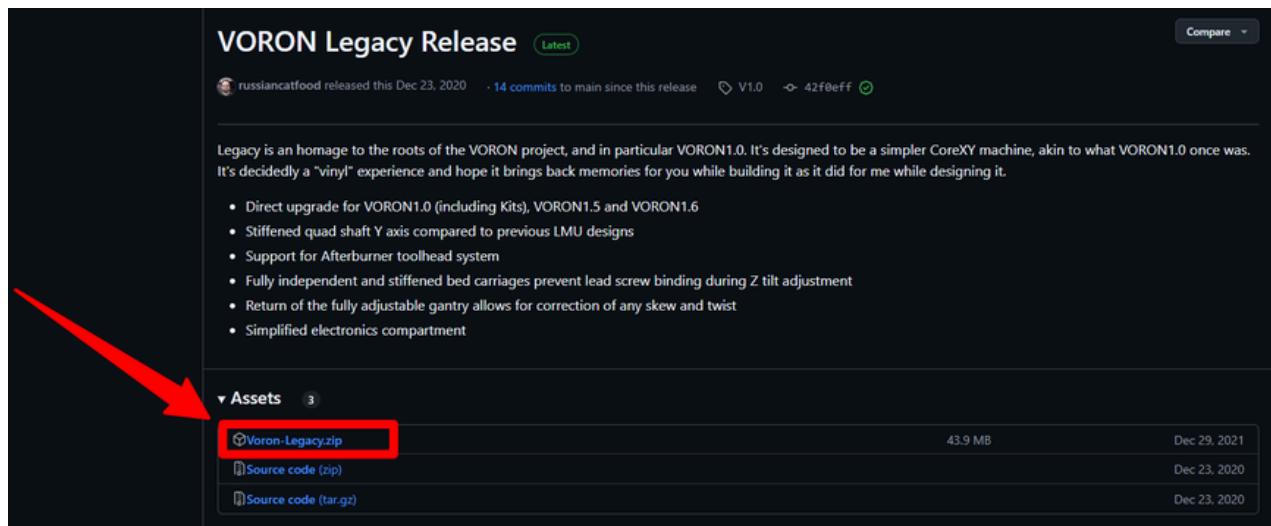


Figura 1. Archivo Voron-Legacy.zip. Captura tomada del repositorio Voron Design en GitHub [3].

Una vez descargado y descomprimido el archivo, las piezas las podremos encontrar en la carpeta STLs. Necesitaremos todas las piezas excepto las que se encuentran en la carpeta “Tools”

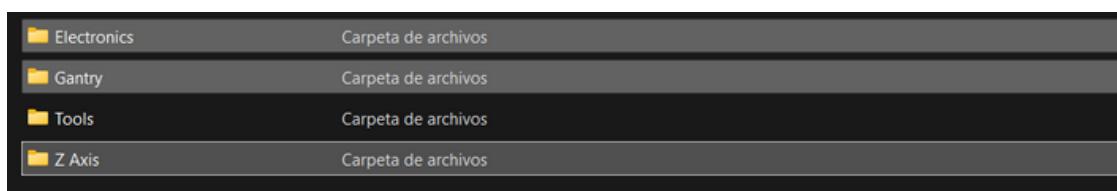


Figura 2. Carpetas con los archivos .STL que usaremos para el proyecto.

Cada archivo indica cuántas veces debe imprimirse una pieza. En este caso, la anotación "x2" significa que se deben imprimir dos copias del modelo correspondiente. Como se muestran dos archivos (uno para la pieza A y otro para la pieza B), se requerirán un total de cuatro piezas: dos de cada tipo.

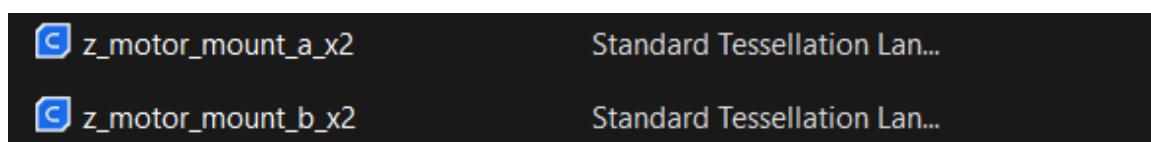


Figura 3. Ejemplo de archivos STL con indicación de cantidad por pieza.

Si deseas personalizar el aspecto de tu impresora, puedes utilizar la herramienta Voron Color Configurator Tool (VCCT). Esta utilidad permite diseñar y planificar el esquema de colores de las piezas impresas, facilitando la visualización del resultado final antes de iniciar la impresión, tal como se muestra en la Figura 4.

Voron Color Configurator

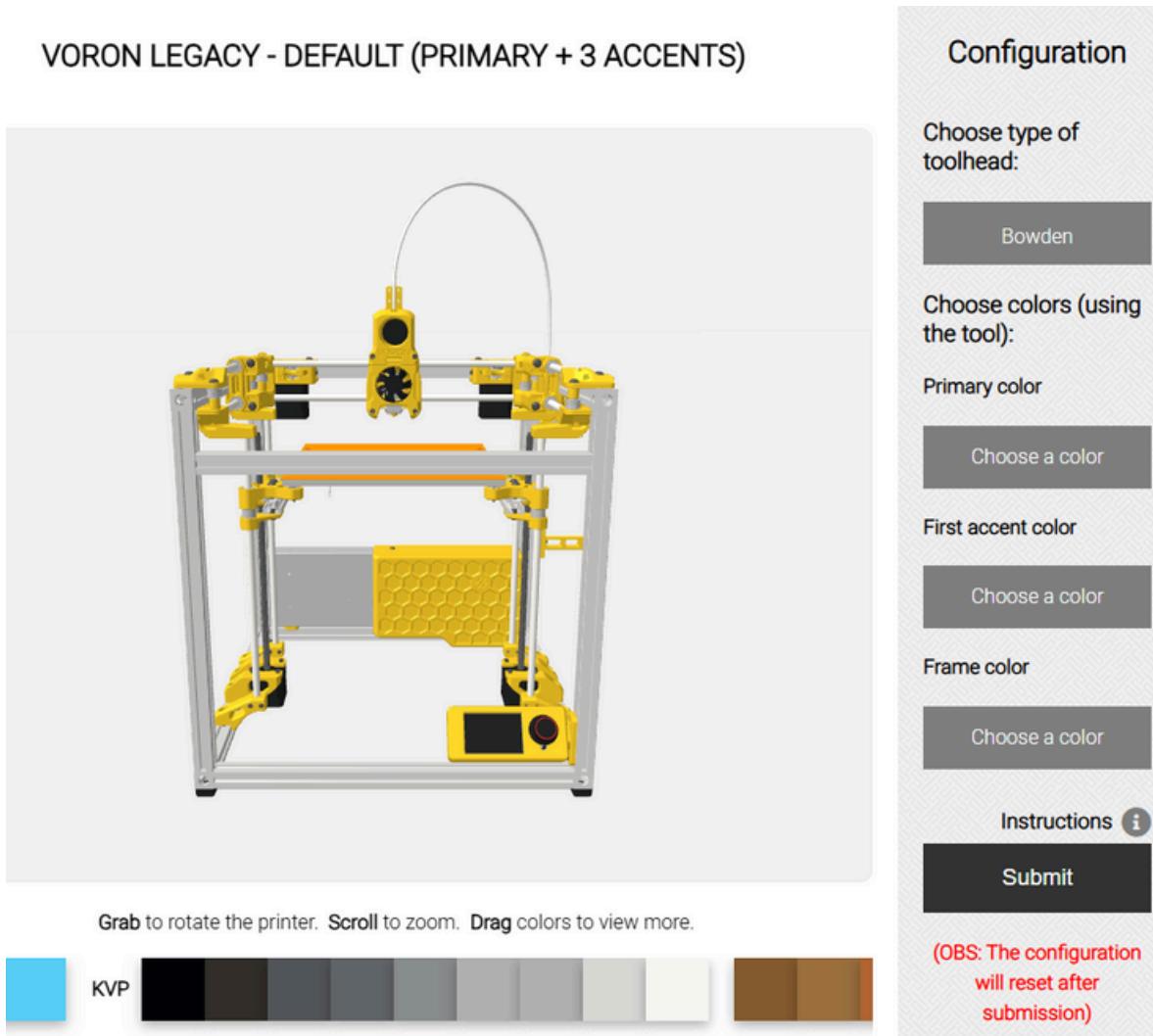
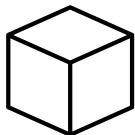


Figura 4. Herramienta para selección del color de la impresora. Captura tomada de [4].



LISTA DE MATERIALES

A continuación, se presenta la lista de materiales organizada en secciones principales. Esta clasificación agrupa los elementos según su función o categoría:

Sujetadores

Elemento	Descripción	Cantidad
M5x30 BHCS	Tornillo de cabeza abombada	12
M3x30 SHCS	Tornillo de cabeza cilíndrica	20
M5x10 BHCS	Tornillo de cabeza abombada	26
M5 T-Nut	Tuerca en T para perfiles	51
M5 Washer	Arandela para tornillo M5	24
M2x10 Self-Tapping	Tornillo goloso	8
M3x20 SHCS	Tornillo de cabeza cilíndrica	8
M3 Threaded Insert	Inserto roscado para M3	43
M3x12 SHCS	Tornillo de cabeza cilíndrica	8
M5x40 SHCS	Tornillo de cabeza cilíndrica	6
M5 Hexnut	Tuerca hexagonal M5	4
M5x16 BHCS	Tornillo de cabeza abombada	41
M3x40 SHCS	Tornillo de cabeza cilíndrica	5
M3x16 SHCS	Tornillo de cabeza cilíndrica	16
M3x8 SHCS	Tornillo de cabeza cilíndrica	20
Bed Spring	Resorte para cama caliente	4
M4x8 BHCS	Tornillo de cabeza abombada	5



Tornillo BHCS



Tornillo SHCS



M3 Threaded Insert

Tabla 3. Lista de elementos sujetadores. Adaptada de [5].



Se recomienda tener a la mano un par de tornillos adicionales para cubrir posibles pérdidas durante el proceso de armado. Además, para minimizar el riesgo de extravío, es importante mantener los materiales organizados en un espacio de trabajo limpio y ordenado. Clasifique y almacene los tornillos, piezas y herramientas en recipientes separados o etiquetados según su tipo y tamaño.

Componentes de movimiento

Los componentes de la lista de movimiento son esenciales para garantizar el correcto desplazamiento y posicionamiento de las partes móviles de la impresora 3D.

Elemento	Cantidad
Polea para correa GT2 20T (5mm bore)	4
Rodamiento F695	24
Rodamiento lineal LM8LUU	10
Tuerca para husillo TR8x8	2
Eje lineal de 8 mm, longitud 390 mm	6
Eje lineal de 8 mm, longitud 400 mm	4
Correa abierta GT2 de 6 mm de ancho y 1970 mm de largo	2
Acople flexible para motor 5mm x 8mm x 25mm	2
Imanes de neodimio de 3 mm (para la sonda Klicky)	6



Polea



Rodamiento F695



Rodamiento lineal LM8LUU

Tabla 4. Lista de elementos movimiento. Adaptada de [5].



Verificar que todos los componentes estén en buen estado antes de comenzar el ensamblaje, especialmente, mantener los rodamientos LM8LUU aceitados, ya que tienden a oxidarse rápidamente tanto en el exterior como en el interior. Esto también asegura que funcionen correctamente y prolonga su vida útil.

Mantener los ejes lineales y rodamientos limpios y libres de polvo o grasa excesiva para un movimiento suave.

Opta por materiales de buena calidad, ya que algunos componentes de bajo costo (como rodamientos o correas) pueden desgastarse rápidamente y afectar el rendimiento de la impresora.

Componentes electrónicos

Los componentes electrónicos son fundamentales para el funcionamiento y control de la impresora 3D, ya que permiten la comunicación y regulación de las distintas partes del sistema, como el extrusor, los motores, y los ventiladores.

Estos elementos incluyen tanto piezas de control, como los drivers para motores paso a paso, como sensores y dispositivos de alimentación, esenciales para garantizar un rendimiento preciso y seguro. Además, componentes como la placa base, los interruptores de límite, y los ventiladores contribuyen a mantener la estabilidad térmica y el movimiento adecuado de la impresora, asegurando la calidad en cada impresión. A continuación se presenta una lista con los componentes electrónicos necesarios para ensamblar el sistema y su funcionamiento eficiente.

Elemento	Cantidad
Interruptor de límite micro SPDT KW10	2
Motor paso a paso NEMA17	5
Hotend Bowden E3D V6 (24V)	1
Ventilador centrífugo 40x40x20 (24V)	1
Ventilador turbo 5015	1
Ventilador axial 40x40x10 (24V)	1
Placa base SKR 1.4	1
Driver para motor paso a paso TMC2209	5
Ventilador axial 60x60x20 (24V)	1
RaspberryPi Zero 2W	1
Fuente de alimentación 24V 20A	1
Cable de alimentación C13	1
Fusible térmico (150°C)	1
Entrada de corriente AdamTec IEC-GS-1-100	1
Conector Bowden TriangleLab	1
Lamina calefactora de Aluminio para el area de Impresion. Dimension: 328 * 328 * 3 mm	1
Microinterruptor Omron D2F-01L (recomendado, para uso en la sonda Klicky)	1



Motor paso a paso NEMA17



RaspberryPi Zero 2W



Fuente de poder

Tabla 5. Lista de elementos electrónicos. Adaptada de [5].

Materiales de montaje y mantenimiento

Además de los componentes electrónicos, es crucial contar con materiales de apoyo que garanticen la fijación, protección y organización de las piezas y cables. Estos componentes permiten una instalación más eficiente y segura, contribuyendo a la durabilidad y buen rendimiento del sistema.

Elemento	Cantidad
cinta térmica kapton	1
Adhesivo para fijación de tornillos	1
Lubricante de litio	1
Cinta para arnés de cableado	1
Sujetadores de nailon	20
Malla trenzada para cables	1
Terminal de crimpado tipo pala (hembra) de 4.8mm	7



Cinta térmica kapton

Tabla 6. Lista de elementos de mantenimiento. Adaptada de [5].

Cables

Elemento	Longitud (m)
Tubo termoencogible 3/4"	1
Cable de silicona rojo 20 AWG	2
Cable de silicona negro 20 AWG	2
Cable de silicona blanco 20 AWG	2
Cable de silicona verde 20 AWG	2
Cable de silicona azul 24 AWG	5
Cable de silicona amarillo 24 AWG	5
Cable de silicona verde 24 AWG	5
Cable de silicona blanco 24 AWG	5
Cable de silicona 18 AWG	3



cable de silicona

Tabla 7. Lista de cables. Adaptada de [5].

Elementos como la cinta térmica Kapton, adhesivos para fijación, y lubricantes aseguran la correcta adherencia y funcionamiento de las partes móviles. Además, cables de silicona, cinta para arneses y sujetadores de nailon son esenciales para organizar el cableado y garantizar conexiones seguras.

Conectores

Elemento	Cantidad
Conejero DuPont de 4 posiciones	2
Conejero DuPont de 3 posiciones	1
Conejero JST XH de 4 posiciones	7
Conejero JST XH de 2 posiciones	6
Conejero MicroFit3 de 4 posiciones	4
Conejero MicroFit3 de 3 posiciones	1
Conejero MicroFit3 de 2 posiciones	2
Receptáculo MicroFit3 de 4 posiciones	4
Receptáculo MicroFit3 de 3 posiciones	1
Receptáculo MicroFit3 de 2 posiciones	2
Pín hembra DuPont	10
Pín hembra JST XH	40
Pín hembra MicroFit3	40
Pín macho MicroFit3	40



MicroFit3 Connector4 Position

Tabla 8. Lista de conectores. Adaptada de [5].



La calidad de los conectores y pines es crucial para evitar fallos de conexión que puedan afectar el rendimiento de la impresora, por lo que se recomienda elegir conectores de buena calidad y utilizarlos adecuadamente para un funcionamiento óptimo.



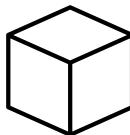
JST XH Connector
Plug 2 Position

Perfiles en Aluminio Ranura tipo T

Elemento	Cantidad
Perfiles de aluminio extruido tipo T-slot 2020 de 45.5 cm	4
Perfiles de aluminio extruido tipo T-slot 2020 de 49.5 cm	8
Perfiles de aluminio extruido tipo T-slot 2020 de 27 cm	2

Tabla 9. Perfiles de aluminio. Adaptada de [5].

Dada la importancia de los perfiles de aluminio T-slot en el ensamblaje de la estructura, a continuación, se detalla el proceso de selección de este componente



ESTRUCTURA DE ALUMINIO

Perfiles con ranura T

El perfil T-Slot es un tipo de barra o marco de aluminio extrusionado que cuenta con ranuras en forma de "T" a lo largo de su longitud. Estas ranuras permiten la inserción de conectores, tornillos y otros accesorios sin necesidad de perforar o soldar.

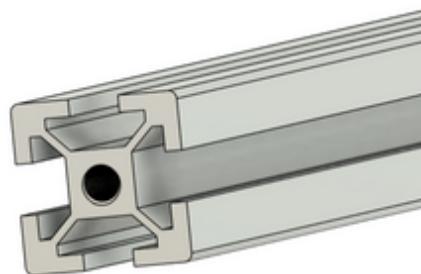


Figura 5. Vista del perfil de aluminio.

Elección del perfil de aluminio

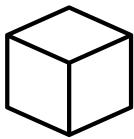
La elección del perfil adecuado es fundamental para asegurar tanto la calidad del ensamblaje como la viabilidad del proyecto, teniendo en cuenta factores como la precisión, la durabilidad y el costo. A continuación, se presenta una comparación entre los perfiles de aluminio Misumi HFSB5-2020, recomendados originalmente por su alta calidad, y los perfiles estándar chinos, que se presentan como una opción más accesible en términos de costos y disponibilidad.

Características	Misumi HFSB5-2020	Perfil estándar chino
Acabado superficial	Alta calidad, anodizado uniforme	Variable, pero funcional
Precisión dimensional	± 0.5 mm	± 1 mm (depende del fabricante)
Durabilidad	Alta resistencia al desgaste (aleación de aluminio 6005A-T5)	Menor, pero adecuada
Costo aproximado	Alto	Bajo

Tabla 10. Perfiles de aluminio. Adaptada de [6], [7].



El diseño original de la Voron Legacy propone el uso de perfiles de aluminio Misumi con la referencia HFSB5-2020, reconocidos por su alta precisión y calidad. Sin embargo, debido a las dificultades logísticas y los costos asociados a la importación de estos perfiles desde Estados Unidos, se ha optado por utilizar perfiles de aluminio estándar 2020 chino como alternativa viable.



CORTES DE LOS PERFILES

El corte de los perfiles de aluminio es un paso crucial para garantizar la precisión y la rigidez de la estructura de la impresora 3D. A continuación, se describen dos métodos para realizar este proceso: uno utilizando herramientas básicas y otro con herramientas eléctricas.

Método Básico: Flexómetro y Segueta

Materiales Necesarios:

- Flexómetro.
- Segueta con hoja para metales.
- Esquineras o guías de 90° (opcional, para mayor precisión).
- Lima para desbastar bordes cortados.
- Cinta adhesiva o marcador para identificar las medidas

Pasos:

1. Marca la longitud exacta en el perfil usando el flexómetro y un marcador. Usa cinta adhesiva alrededor del perfil para tener una referencia clara.
2. Sujeta firmemente el perfil en un tornillo de banco o en una superficie estable.
3. Realiza el corte siguiendo la marca, aplicando presión uniforme y manteniendo la segueta perpendicular al perfil.
4. Desbasta los bordes cortados con una lima para eliminar rebabas y evitar cortes.

Posibles alternativas

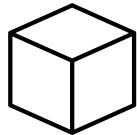
Herramientas:

- Sierra de inglete eléctrica con hoja para metales.
- Sierra de mesa con disco de corte fino para aluminio.
- Esmeril angular con disco de corte para metales.

!

Marca la longitud exacta en el perfil usando el flexómetro y un marcador. Asegúrate de medir varias veces para evitar errores. Puedes usar cinta adhesiva alrededor del perfil en la zona de corte para que la línea de marcado sea más visible y estable.

Sujeta firmemente el perfil en un tornillo de banco o en una superficie estable. Asegúrate de que el perfil esté alineado y no se mueva durante el corte, lo cual puede afectar la precisión



ENSAMBLADO

Herramientas necesarias

- Llaves Allen (M5).
- Escuadras de precisión para asegurar ángulos rectos.
- Cinta métrica o calibrador.
- Nivel de burbuja (para verificar alineaciones).
- Tornillos M5 de 10 mm de longitud, cabeza avellanada
- llave giramachos



Tornillo M5 x 10 mm, cabeza avellanada

Dimensiones de los perfiles

aluminio extruido tipo T-slot 2020

- 4 perfiles de 45.5 cm
8 perfiles de 49.5 cm



Llave Allen

Preparación del área de trabajo

- Superficie Plana, nivelada y Estable
- Iluminación Adecuada: Facilita la inspección de las piezas y el ajuste de los tornillos.
- Organización de Piezas: clasificar los perfiles y componentes pequeños para evitar confusiones



Llave giramacho



Asegúrate de tener llaves Allen de calidad para evitar desgastar las cabezas de los tornillos.

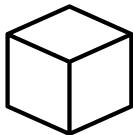
Un set con mango ergonómico puede facilitar el trabajo prolongado

La cinta métrica es ideal para mediciones rápidas y aproximadas.

Para mediciones más precisas (especialmente en piezas pequeñas), utiliza un calibrador digital o vernier.



Escuadra



UNION DE LOS PERFILES

Uniones de codos o ángulos

Los codos son pequeños bloques cúbicos, como el que se detalla en la Figura 6, diseñados para unir perfiles de aluminio en las esquinas y formar ángulos precisos de 90 grados. Cada cubo cuenta con orificios en sus caras para fijar los perfiles de manera segura mediante tornillos. Este diseño robusto no solo garantiza una alineación perfecta, sino que también aporta una considerable rigidez estructural a la unión [8].



Figura 6. Unión de codo.

Uniones ocultas

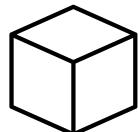
La Figura 7 ilustra el concepto de una unión ciega (Blind Joint), este sistema logra un acabado limpio y profesional al fijar las piezas desde el interior, utilizando un tornillo que pasa a través de un perfil para roscarse en el otro, creando así una unión muy sólida y rígida. Para una guía visual detallada y consejos prácticos aportados por la experiencia de la comunidad, el hilo 'Blind Joint Basics' en el foro de Voron en Reddit es un excelente recurso complementario [9].



Figura 7. Unión oculta.

!

Ambas formas son completamente funcionales pero en este manual optamos por utilizar las uniones ocultas debido a su estética más limpia y a la facilidad de montaje que ofrecen.



PASOS DE ENSAMBLAJE

A continuación un paso a paso sugerido para el ensamblaje de la estructura de aluminio

1

Primero, identifica los cuatro perfiles de aluminio correspondientes a la base y colócalos sobre una superficie plana para formar un rectángulo. A continuación, verifica que cada esquina forme un ángulo perfecto de 90 grados utilizando una escuadra metálica, asegurando que todos los extremos estén bien alineados. Una vez que el marco esté perfectamente cuadrado, procede a instalar los tornillos y tuercas en las cuatro esquinas.



Figura 8. Base de la estructura

2

Con la base ya ensamblada y completamente rígida, el siguiente paso es preparar el montaje vertical, para lo cual debes identificar los cuatro perfiles verticales (mostrados en la Figura 9) y reunir todos los componentes de fijación que se especifican en la lista de materiales

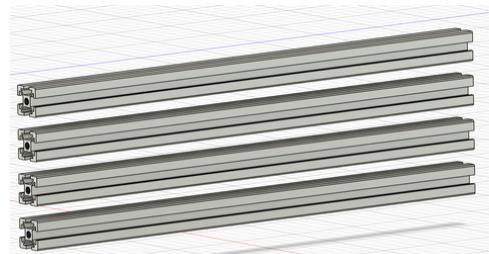


Figura 9. Perfiles verticales.

3

Fija temporalmente los perfiles verticales a las esquinas de la base, asegurándose de que estén perpendiculares utilizando un nivel de burbuja o digital para verificar la verticalidad.

4

Una vez confirmada la perpendicularidad, fija los perfiles verticales con tornillos, sin apretarlos completamente (ver figura 10). Revisa la alineación después de ajustar cada columna y coloca los perfiles superiores sobre los extremos de las columnas verticales, formando un rectángulo, acá puedes comprobar la nivelación del marco superior con respecto a la base utilizando un nivel.

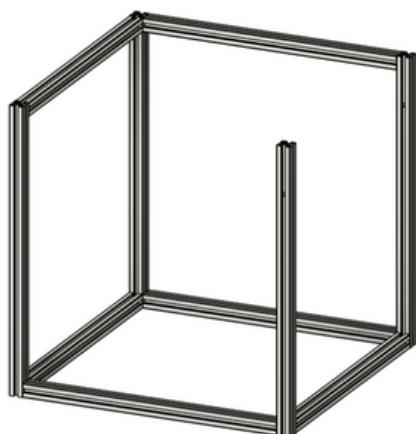


Figura 10. Columnas verticales.

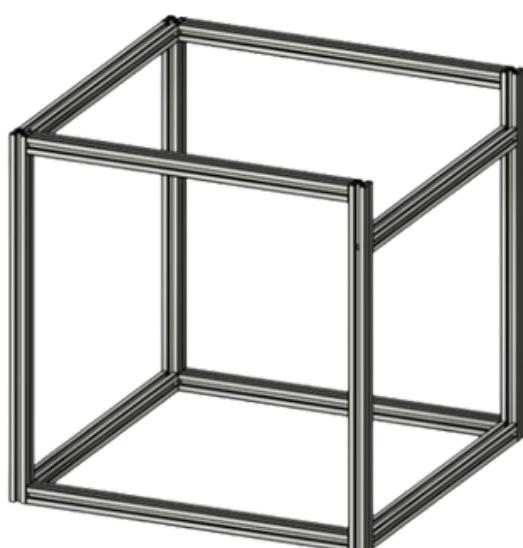
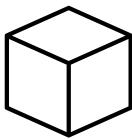


Figura 11. Forma final de la estructura.



Asegúrate de realizar el apriete final de los tornillos en un orden cruzado, distribuyendo así la tensión para no deformar la estructura. Una vez apretados, confirma la simetría del marco midiendo ambas diagonales, las cuales deben tener una longitud idéntica. Finalmente, realiza una inspección general de todas las uniones para verificar que no haya piezas flojas o mal ajustadas.



EJE Z

Una vez completados los pasos descritos en esta sección, deberías tener el ensamblaje que se ilustra a continuación.



Figura 12. Forma final del ensamblado del eje z.

Empecemos por identificar las piezas necesarias, los nombres de las piezas son los mismos con los encontrados en los archivos STLs de descarga para facilitar su reconocimiento.



Figura 13. 2 piezas z_shaft_support_lower_a y 2 piezas z_shaft_support_lower_b.

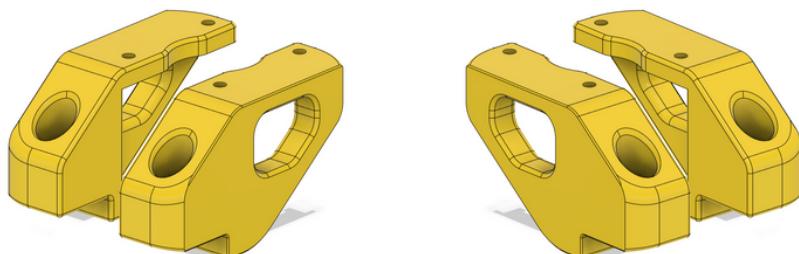


Figura 14. 2 piezas z_motor_mount_a y 2 piezas z_motor_mount_b.



Figura 15. 4 piezas z_shaft_support_upper.



Figura 16.4 Rodamientos lineales LM8LUU.

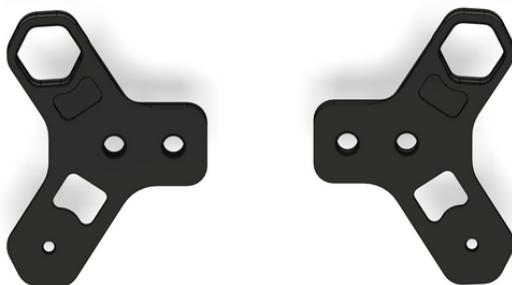


Figura 17. 2 piezas bed_carriage_lower_b.

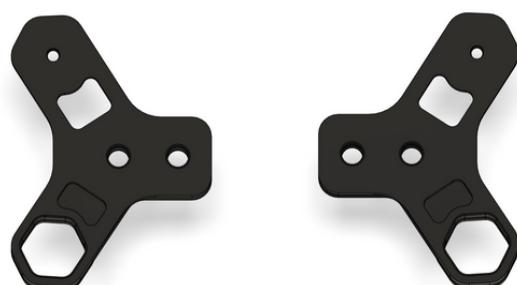


Figura 18. 2 piezas bed_carriage_lower_a.



Figura 19. 4 ejes lineales de 8 mm, longitud 400 mm.

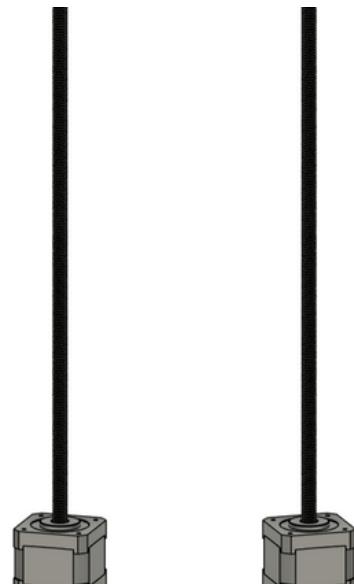


Figura 20. 2 motores paso a paso Nema 17 con husillo T8X8 de 320mm.



Puedes usar los motores paso a paso que incluyen el husillo, sin embargo, en algunos lugares es un poco más fácil comprar los motores y los husillos por separados. Para unirlos, necesitarás un acople de motor compatible, como un acople de 5 mm a 8 mm, que asegure una conexión firme y precisa entre el eje del motor y el husillo.



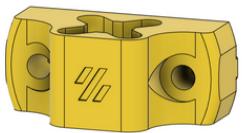


Figura 21. 2 piezas z_leadscrew_block.

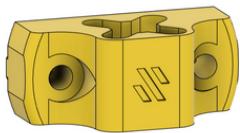


Figura 22. 2 tuercas para husillo.



Figura 23. 2 perfiles de aluminio de 27 cm.

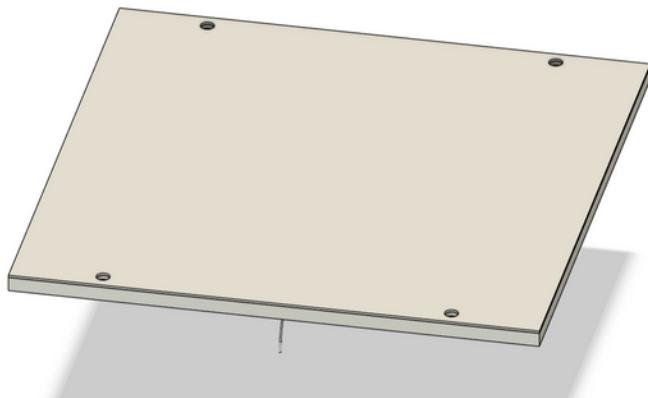


Figura 24. Cama calefactora PCB de aluminio, 300x300x3mm.



Figura 25. Termistor Ntc 3950 100k.

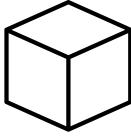


Figura 26. 4 resortes para nivelacion de la cama calefactora.



El modelo original de la Voron Legacy utiliza una placa de aluminio calentada mediante un calentador de silicona y controlada por un relé de estado sólido. Sin embargo, para este montaje, se ha optado por utilizar una cama caliente de PCB de aluminio.

La cama caliente de PCB de aluminio se destaca como una alternativa más económica frente a las placas con calentador de silicona y, además, su amplia disponibilidad en la mayoría de los mercados facilita su adquisición, ayudando a reducir significativamente el costo total del proyecto



ENSAMBLAJE

1

Inserta cuidadosamente un rodamiento LM8LUU dentro de cada pieza bed_carriage_lower_a.

2

Une la pieza bed_carriage_lower_a (parte superior) con la pieza bed_carriage_lower_b (parte inferior), asegurándose de que el rodamiento quede firmemente en su lugar.

3

Repite este proceso hasta obtener 4 conjuntos completos como se muestra en la figura 27.



Verifica que los ejes lineales estén limpios, sin polvo ni grasa acumulada.

Aplica una capa ligera de lubricante para reducir el desgaste y garantizar un deslizamiento suave.

4

Toma una pieza z_shaft_support_lower e inserta el extremo del eje lineal hasta que quede fijo (ver figura 28). Asegúrate de que el eje esté correctamente alineado y completamente insertado en la pieza de soporte. Repite este proceso para cada uno de los 4 ejes.

5

Una vez ensamblados, tendremos 2 ejes completos para el lado derecho y 2 ejes completos para el lado izquierdo. Los fijaremos al perfil de aluminio inferior, para esto necesitaremos tornillos m5x16mm.

6

Comienza por tomar las piezas obtenidas en el paso 3, las cuales se identifican en la Figura 28, y procede a instalar una en cada eje de la estructura.

7

Toma la pieza z_shaft_support_upper y colócala en la parte superior del eje lineal. Asegúrate de que el agujero central del soporte se alinee correctamente con el eje.

Atornillar al perfil superior, usa los tornillos M3x16mm para fijar la pieza z_shaft_support_upper al perfil superior de la estructura. El objetivo es formar el ensamblaje que se ilustra como resultado final en la Figura 29.



Figura 27. Pieza bed_carriage con rodamiento.



Figura 28. Pieza z_shaft_support_lower con eje lineal.



Figura 29. Aspecto final para uno de los laterales.

8

Coloca las piezas z_motor_mount_a y z_motor_mount_b juntas, siguiendo el diseño mostrado en la figura 30.

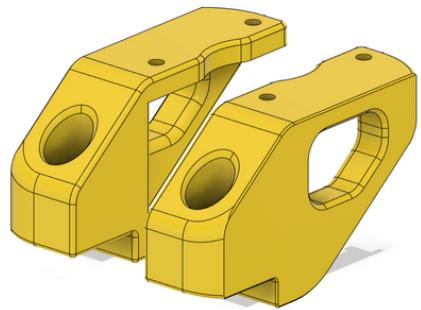


Figura 30. Piezas z_motor_mount_a y z_motor_mount_b alineadas.

Inserta el motor paso a paso NEMA17 en el espacio designado. Si tienes un acoplador flexible, verifica que encaje correctamente en el eje del motor (ver la figura 31).

Usa 4 tornillos M3x16mm para sujetar el motor al soporte y aprieta los tornillos con firmeza, pero sin forzar demasiado para no dañar las roscas. El objetivo es formar el ensamblaje que se ilustra en la Figura 32.



Figura 31. Piezas z_motor_mount_a y z_motor_mount_b con motor.



Figura 32. Aspecto para uno de los laterales.

9

Acá usaremos los dos perfiles de aluminio sobrantes de 27cm, fijaremos las piezas al perfil con 8 tornillos m5x10. El tornillo de husillo irá dentro la piezas leadscrew_block, desliza en el eje asegurándote de que encaje correctamente y gire suavemente y fíjalo al perfil con dos tornillos m5x10 como se ve en la figura 33.



Figura 33. Pieza leadscrew_block ensamblada en un eje.

Antes de continuar, toma un momento para verificar tu trabajo. El montaje de la estructura del eje Z debe corresponder exactamente con la ilustración de la Figura 33.



Figura 34. Vista completa de los dos laterales.

10

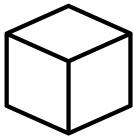
Por último, ubicaremos la cama calefactora



Figura 35. Representación de un cama calefactora.

!

Asegúrate de que la cama esté posicionada con la superficie de impresión hacia arriba y el lado con la resistencia calefactora hacia abajo.



EJE Y

Al finalizar esta sección tendremos el siguiente montaje:



Figura 36. Vista del montaje esperado para el eje y.

Empieza por identificar las piezas necesarias, los nombres de las piezas son los mismos que los encontrados en los archivos STLs de descarga para facilitar su reconocimiento

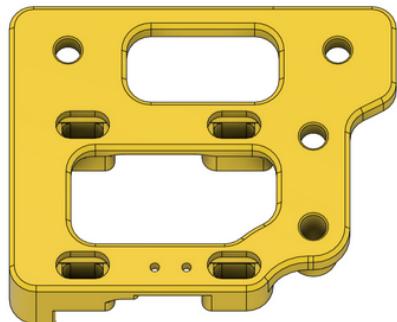


Figura 37. Componente
a_drive_unit_upper.

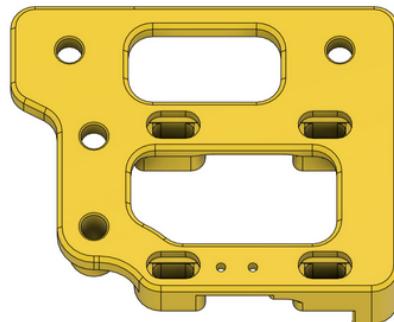


Figura 38. Componente
b_drive_unit_upper.

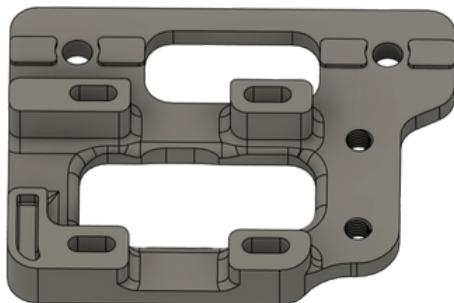


Figura 39. Componente
a_drive_unit_lower.

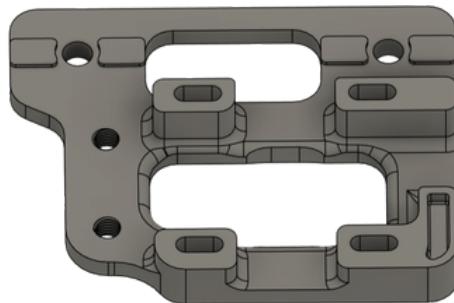


Figura 40. Componente
b_drive_unit_lower.

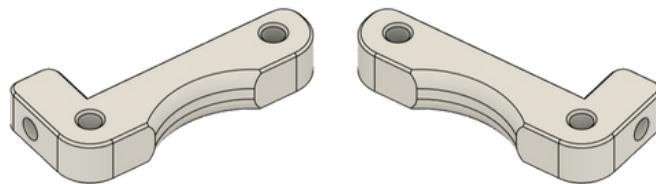


Figura 41. [a]_belt_tensioner_x2.

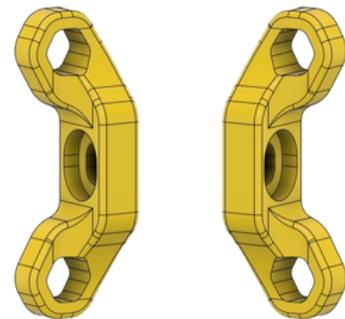


Figura 42. Componente y_shaft_rear_support_x2.

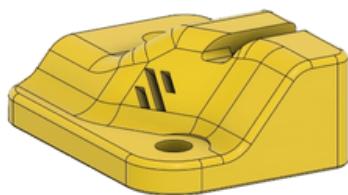


Figura 43. front_idler_right_upper y front_idler_left_upper.



Figura 44. front_idler_right_lower y front_idler_left_lower

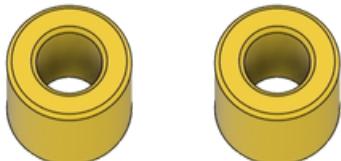


Figura 45. Pieza idler_spacer_x2



Figura 46. Rodamientos F695

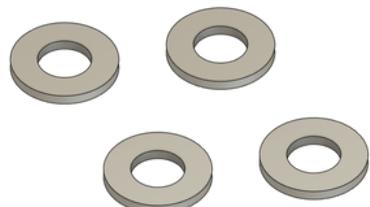


Figura 47. Arandelas



Figura 48. Inserciones roscadas



Figura 49. Varillas lisas para ejes lineales



Figura 50. Rodamiento LM8LUU



Figura 51. Motores paso a paso Nema 17



Figura 52. Polea para correa GT2

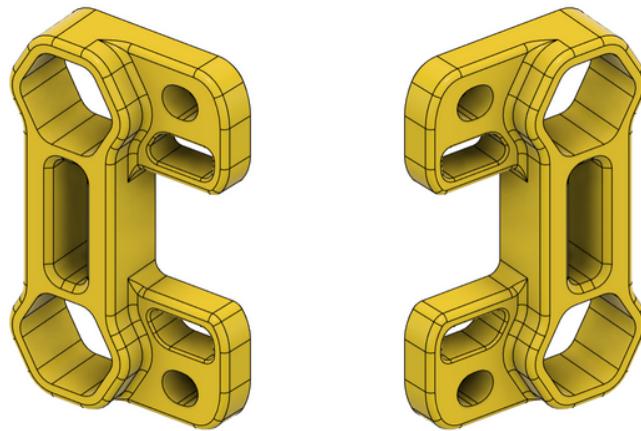


Figura 53. Pieza y_bearing_retainer_front_x2

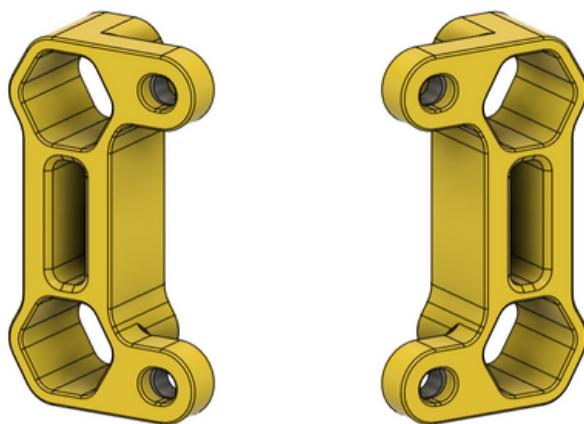


Figura 54. Pieza y_bearing_retainer_rear_x2

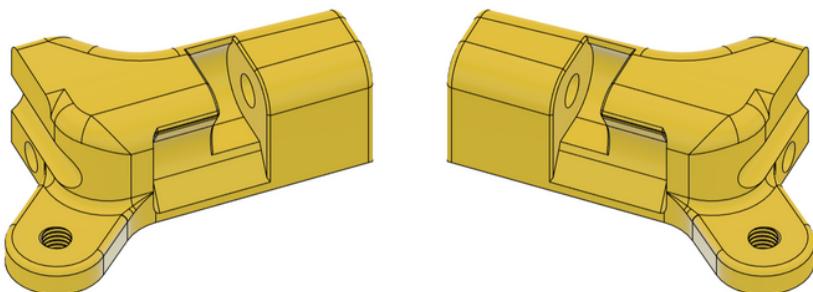


Figura 55. Piezas xy_joint_left_low y xy_joint_right_low

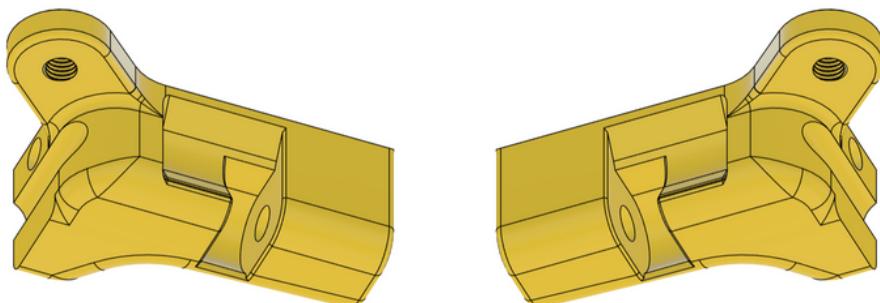
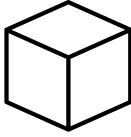


Figura 56. Piezas xy_joint_left_upper y xy_joint_right_upper



ENSAMBLAJE

1

A continuación, dirige tu atención a la esquina superior derecha de la estructura para realizar el siguiente montaje.



Figura 57. Vista superior del montaje

Para ensamblar el tensor frontal derecho, comienza por alinear las piezas front_idler_right_upper y front_idler_right_lower. Inserta un tornillo M5x30 a través de la pieza superior y, a continuación, desliza sobre él, en orden, un espaciador, una arandela, el rodamiento F695 y una segunda arandela. Finaliza pasando el tornillo a través de la pieza inferior para completar el conjunto. El resultado debe coincidir con la parte derecha del montaje que se ilustra en las figuras 58 y 59.



Figura 58. Piezas Idler_spacer, arandelas y rodamientos F695 alineados.

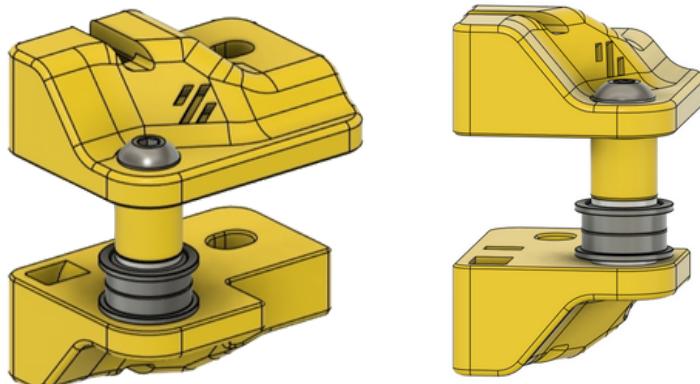


Figura 59. Vista completa de la pieza con los componentes armados.

Ajuste el tornillo asegurándose de que todas las piezas queden correctamente alineadas y sujetas, como se muestra en la figura 60.

Una vez ubicado el Front Idler Derecho, procederemos a fijarlo a los perfiles de aluminio utilizando los Tornillos M5x16.

Apriete los tornillos asegurándose de que la pieza quede bien sujetada y alineada con la estructura.

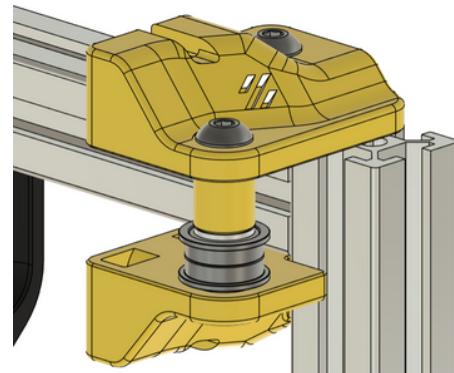


Figura 60. Tensor ubicado en el lateral derecho.



Repetiremos este proceso , ubicandonos en la izquina superior izquierda, pero en este caso usaremos las piezas front_idler_left_upper y front_idler_left_lower.

Para ensamblar el tensor frontal Izquierdo, el orden de inserción es, una arandela, el rodamiento F695, una segunda arandela y finalmente el espaciador (idler_spacer).

Finaliza pasando el tornillo a través de la pieza inferior para completar el conjunto (ver figura 61).

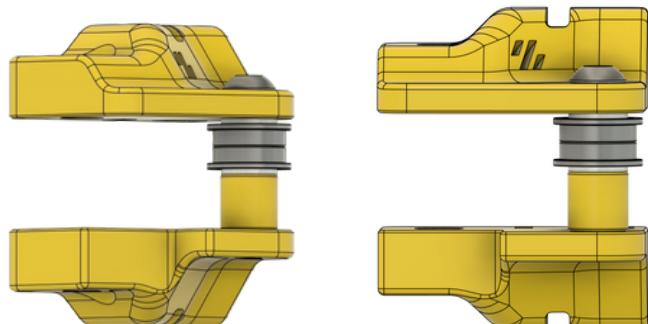


Figura 61. Tensor para el lado izquierdo.

Hasta este punto tendremos la siguiente estructura:

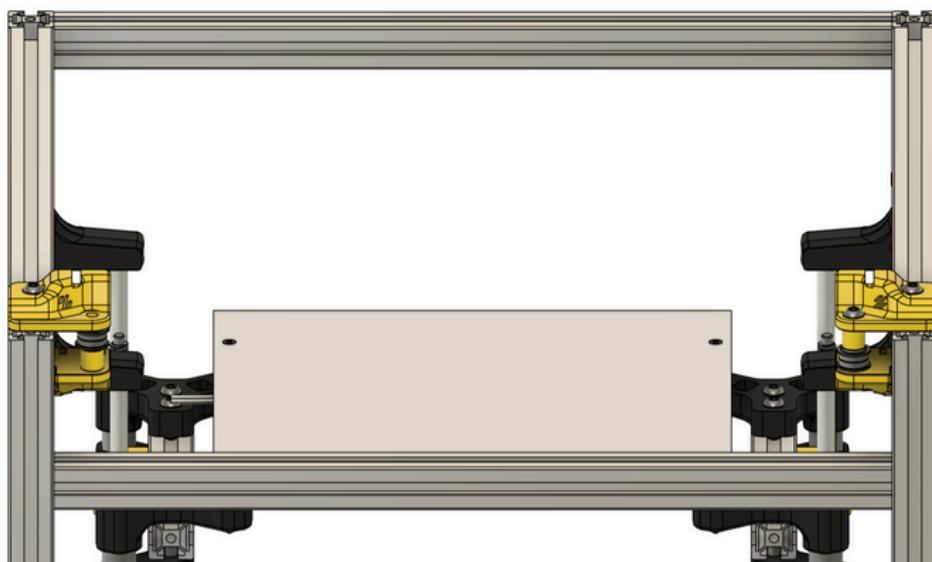


Figura 62. Vista de los Tensores frontales.

2

En este paso, utilizaremos las siguientes piezas:

- y_bearing_retainer_front (ver figura 53).
- y_bearing_retainer_rear (ver figura 54).
- Rodamientos LM8LUU.

Tome la pieza y_bearing_retainer_rear e inserte los rodamientos LM8LUU, asegurándose de que queden bien ajustados, verifique que los rodamientos estén alineados y completamente encajados en la pieza (ver figura 63).

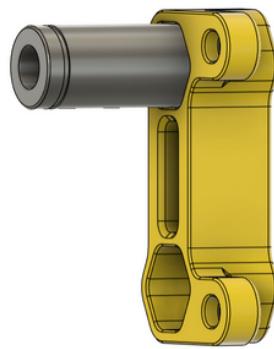


Figura 63. Vista de los Tensores frontales.

Una vez colocados los dos rodamientos en la pieza y_bearing_retainer_rear, proceda a instalar la pieza y_bearing_retainer_front. La pieza y_bearing_retainer_front debe insertarse en los rodamientos, formando una estructura firme y alineada.

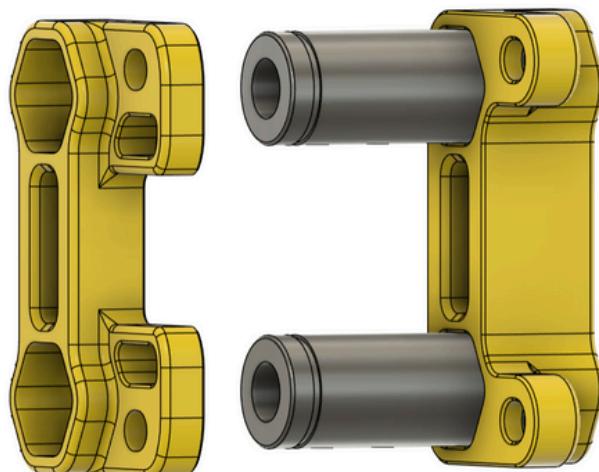


Figura 64. Proceso de ensamblado de los rodamientos con las piezas y_bearing_retainer.

Asegúrese de que todas las piezas estén bien encajadas y alineadas, tal como se muestra en la figura 65.

Este ensamblaje es crucial para el correcto movimiento del eje Y, por lo que es importante que los rodamientos queden bien sujetos y alineados.

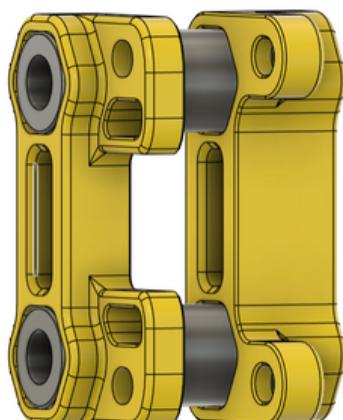


Figura 65. Ensamblaje de los retenedores

3

A continuación, procede a instalar las varillas de los ejes lineales, asegura que se ajusten correctamente a las piezas ensambladas previamente en las figuras 59 y 61. Inserte las varillas a través de las guías de la estructura, verificando que entren con un ajuste firme en las piezas front_idler_right y front_idler_left.



Figura 66. Retenedores frontales con ejes lineales.

Asegúrese de que las varillas estén bien alineadas y completamente insertadas en su posición. Repita el procedimiento para ambos lados, derecho e izquierdo, garantizando que las varillas queden paralelas y correctamente sujetas (ver figura 66).

4

Instala la pieza compuesta que ensamblamos previamente en el paso 2 (ver figura 65) en los ejes lineales.

Deslice cuidadosamente la pieza ensamblada (soporte de rodamientos) a lo largo de las varillas como se muestra en la figura 67.

Verifique que los rodamientos encajen correctamente en las varillas sin ejercer demasiada presión.

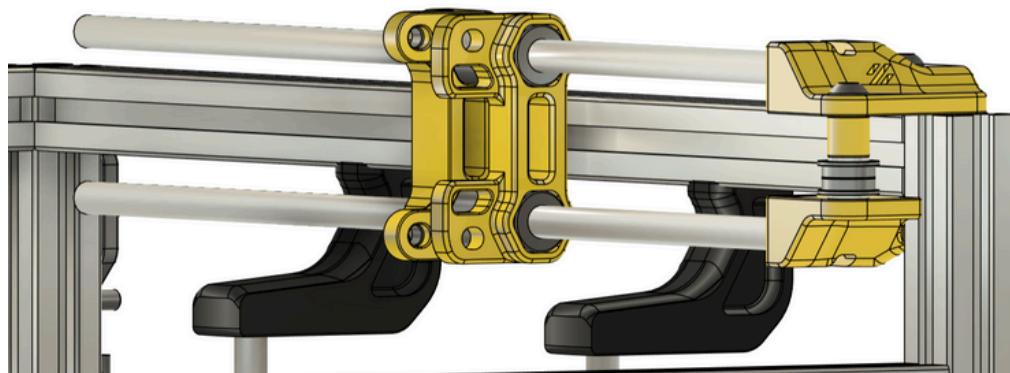


Figura 67. Retenedores en los ejes lineales.



Una vez instalada, desplace la pieza manualmente a lo largo de los ejes para asegurarse de que el movimiento sea fluido y sin resistencia.

Si siente fricción excesiva, verifique la alineación de las varillas y la correcta lubricación de los rodamientos. Este paso es clave para garantizar el buen desempeño del eje Y, por lo que es importante realizar las verificaciones necesarias antes de continuar con el ensamblaje.

Para completar el ensamblaje de esta sección, utiliza la pieza y_shaft_rear_support (ver figura 42), la cual ayudará a fijar las varillas y asegurar la estabilidad del sistema. Inserte la y_shaft_rear_support en los extremos de las varillas, asegurándose de que encaje firmemente, como se muestra en la figura 68.



Figura 68. Montaje del soporte trasero (y_shaft_rear_support) sobre las varillas lisas.

Repite el proceso para el lado izquierdo como se muestra en la figura 69.

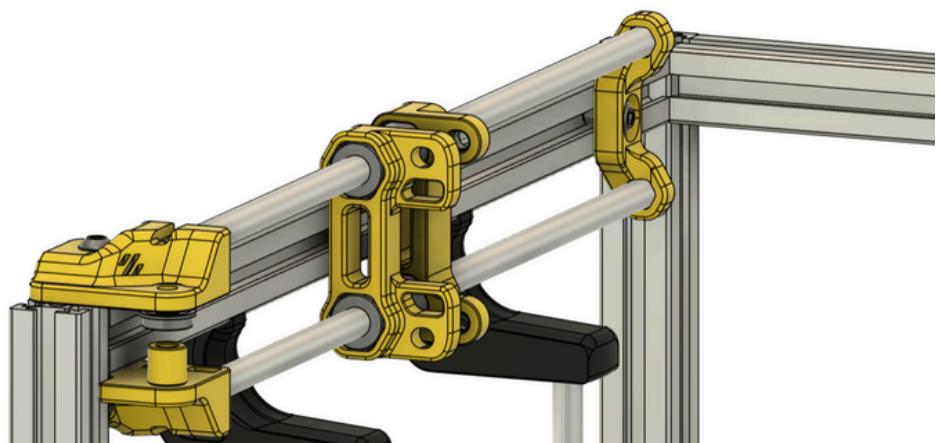


Figura 69. Ilustración del montaje en el lado izquierdo.

En este punto, ya has completado el ensamblaje de el sistema de movimiento del eje Y de la figura 70.



Figura 70. Sistema de movimiento del eje Y.



Asegúrese de que las varillas lineales y los rodamientos LM8LUU estén adecuadamente lubricados. Use un lubricante adecuado para rodamientos lineales (como grasa de litio o aceite para guías lineales) para garantizar un deslizamiento suave y evitar el desgaste prematuro.



Verifique que la pieza `y_shaft_rear_support` mantenga las varillas alineadas y bien sujetas. Desplace manualmente la estructura a lo largo de los ejes para comprobar que el movimiento sigue siendo fluido. Si es necesario, ajuste la posición de las varillas o aplique más lubricación. Con este paso, la parte del eje Y queda cerrada y lista para continuar con el ensamblaje de la impresora.

5

En este paso, procede con la instalación del sistema de motores, el cual permitirá el movimiento en los ejes X e Y utilizando la configuración CoreXY.

Alinea las piezas `a_drive_unit_upper` y `a_drive_unit_lower`, que forman parte del sistema de transmisión de la impresora (ver figura 71).

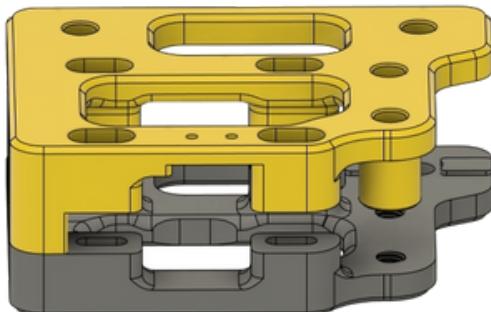


Figura 71. Piezas `a_drive_unit_upper` y `a_drive_unit_lower` alineadas.

Coloque la pieza en la orientación que se muestra en la figura 72. Asegúrese de que los agujeros están alineados correctamente antes de insertar los componentes

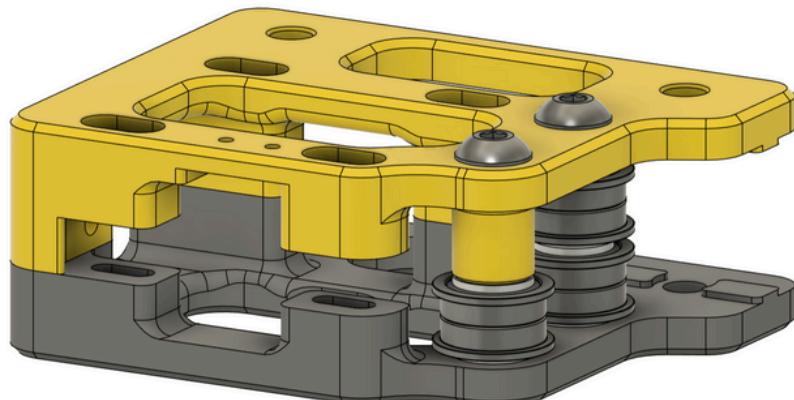


Figura 72. Pieza orientada para inserción de componentes.

Para este montaje, toma un tornillo M5x30 e insértalo en el agujero frontal de la pieza superior del tensor. A continuación, móntale los siguientes componentes en secuencia: un espaciador (Idler_spacer), una arandela, el primer rodamiento F695 y el segundo rodamiento F695 (prestando especial atención a la orientación que se muestra en la figura 73). Finaliza el conjunto con una segunda arandela, atravesia la pieza inferior del tensor y asegúralo con una tuerca. Antes de apretar el tornillo por completo, verifica que los rodamientos giren libremente.

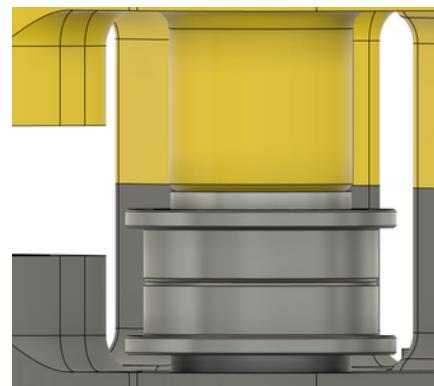


Figura 73. Orientación de los componentes para el tensor en la parte inferior.

Tome otro tornillo M5x30 e insértelo a través del agujero superior.

Ensamble los componentes en este orden:

Arandela.

Rodamiento F695.

Rodamiento F695 (según la disposición de la figura 74).

Arandela.

Arandela.

Rodamiento F695.

Rodamiento F695 (según la disposición de la figura 74).

Arandela.



Figura 74. Orientación de los componentes para el tensor en la parte superior.

Apriete los tornillos asegurándose de no restringir el giro de los rodamientos. La pieza final esperada se muestra en la figura 75.

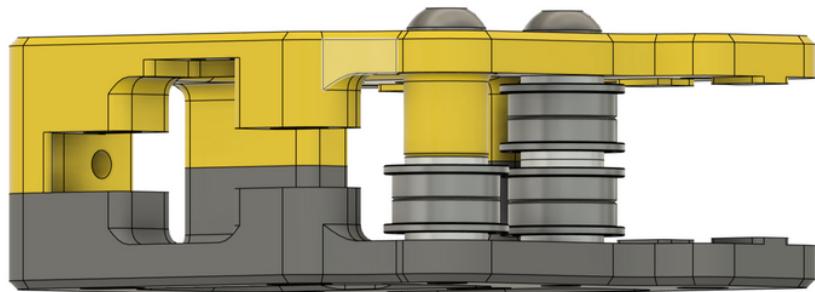


Figura 75. Vista completa del tensor trasero con los componentes ensamblados.



Asegúrate de que todas las piezas estén firmemente ensambladas y correctamente alineadas, y verifica manualmente que los rodamientos giren con total suavidad, sin fricción excesiva ni puntos de atasco.

6

Instala un inserto roscado en la pieza [a]_belt_tensioner para permitir el ajuste preciso de la tensión de la correa, para esto podemos usar un cautín (preferiblemente de temperatura ajustable) y pinzas o alicates (para manipular el inserto si es necesario).

Sigue los siguientes pasos:

Limpie la zona del orificio para evitar residuos que puedan afectar la instalación.

Con el cautín encendido, toque la superficie del inserto roscado durante unos segundos hasta que esté lo suficientemente caliente para fundir el plástico de la pieza.

Con cuidado, presione el inserto dentro del orificio mientras mantiene el calor (ver figura 76).

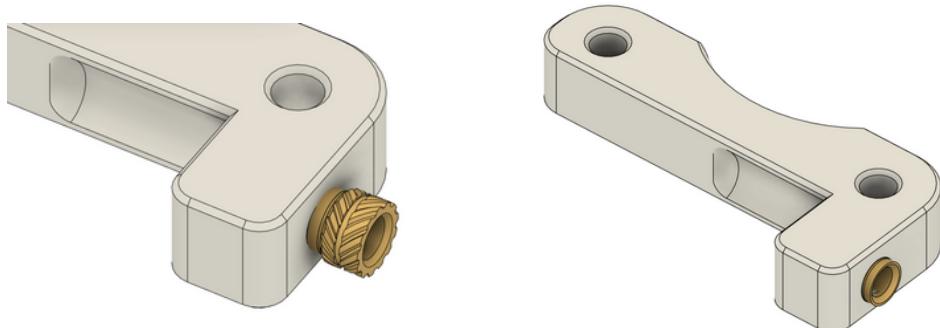


Figura 76. Ilustración del proceso de ensamble de los insertos roscados.



Asegúrese de que el inserto quede completamente alineado y a ras con la superficie de la pieza.
Evite sobrecalentar el inserto para no deformar la pieza.



Una vez que el inserto haya enfriado y el plástico se haya solidificado, pruebe enroscar un tornillo para asegurarse de que la rosca quedó firme, si el inserto no quedó bien alineado o fijo, repita el proceso con más precisión.

Una vez instalado el inserto roscado en la pieza [a]_belt_tensioner, procederemos a fijarla en la estructura previamente ensamblada utilizando un tornillo M3x20

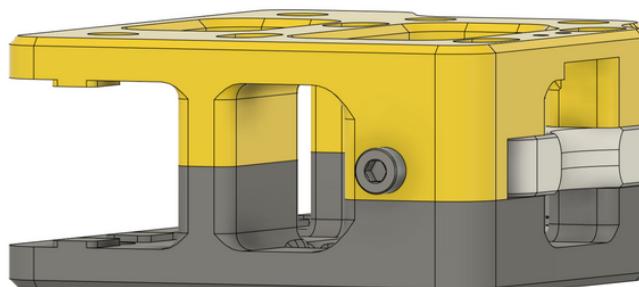


Figura 77. Fijación de la pieza [a]_belt_tensioner.

Desliza la polea GT2 en el eje del motor paso a paso, luego con una llave Allen, ajusta el tornillo de fijación incluido en la polea, debe quedar bien sujetada sin apretar en exceso para evitar daños en la rosca o el eje (ver figura 78).

Si la polea tiene dos tornillos, se deben apretar de forma equilibrada. Finalmente, verifica que la polea gire libremente sin bloqueos ni juego excesivo,



Figura 78. Motor con polea.

A continuación, fija el motor a la pieza ensamblada en el paso anterior (en la figura 77), utilizando cuatro tornillos M3x30, debes alinear correctamente los orificios de montaje. Procede a apretar los tornillos de manera uniforme para garantizar una sujeción firme y evitar inclinaciones en el montaje. El objetivo de este paso es tener una pieza como la mostrada en la figura 79.

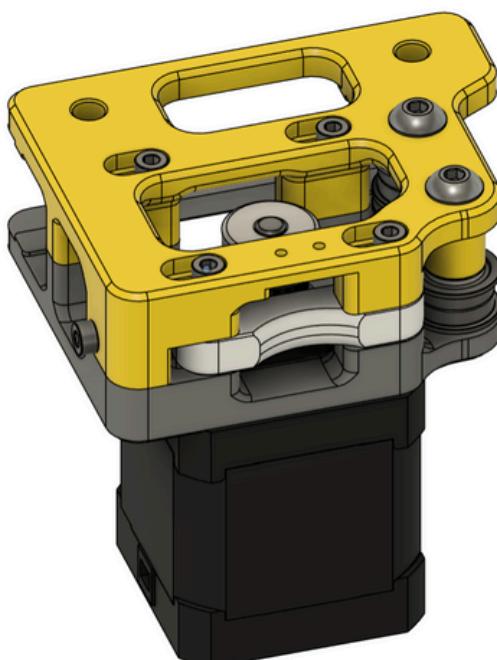


Figura 79. Vista de un tensor trasero.

8

De manera análoga al paso 5, alinearemos las piezas b_drive_unit_upper y b_drive_unit_lower asegurándonos de que encajen correctamente. Para el montaje, colocaremos la pieza en la disposición indicada en la figura 80.

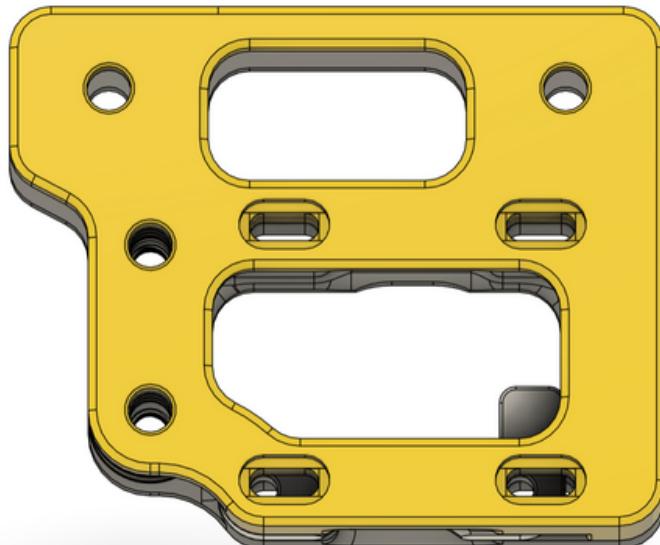


Figura 80. Piezas b_drive_unit_upper y b_drive_unit_lower alineadas.

Tome un tornillo M5x30 e insértelo a través del agujero delantero, agregue los componentes en el siguiente orden:

Arandela.

Rodamiento F695.

Rodamiento F695 (según la disposición de la figura 81).

Arandela.

Idler Spacer.

Asegúrese de que los rodamientos giren libremente antes de apretar el tornillo.

Tome otro tornillo M5x30 e insértelo a través del agujero superior.

Ensamble los componentes en este orden:

Arandela.

Rodamiento F695.

Rodamiento F695 (según la disposición de la figura 82).

Arandela.

Arandela.

Rodamiento F695.

Rodamiento F695 (según la disposición de la figura 82).

Arandela.



Figura 81. Orden de los componentes para el tensor en la parte superior.



Figura 82. Orden de los componentes para el tensor en la parte inferior.

Tendrá el tensor de la parte izquierda como se muestra a continuación

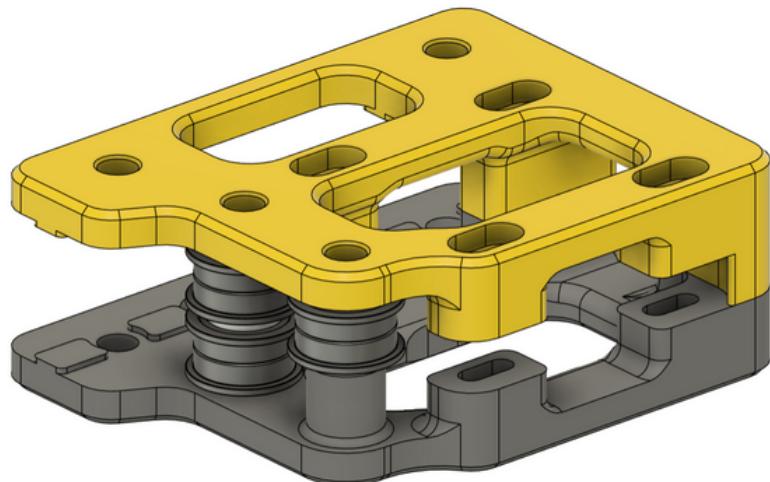


Figura 83. Vista del tensor trasero izquierdo.

Repite los pasos 6 y 7 para esta pieza, asegurándonos de seguir el mismo procedimiento de ensamblaje y alineación. Verificaremos que todos los componentes encajen correctamente y que los rodamientos giren libremente antes de apretar los tornillos, garantizando así un montaje adecuado y un funcionamiento óptimo del sistema.

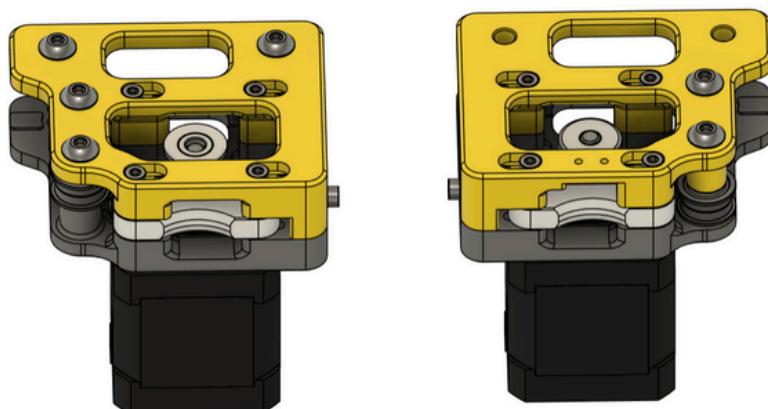


Figura 84. Vista desde arriba de los dos tensores traseros.

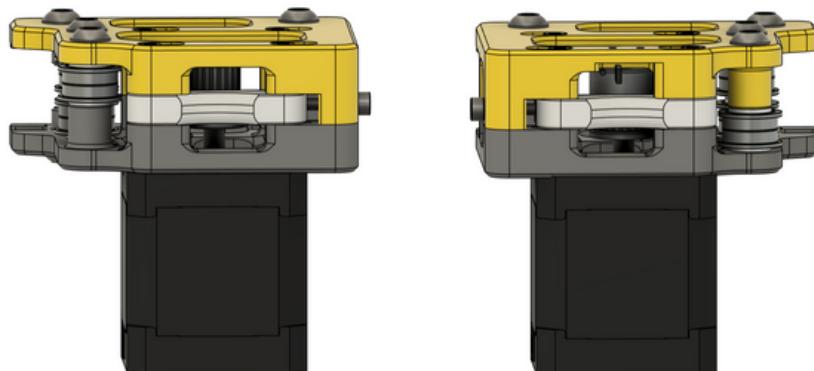


Figura 85. Vista frontal de los dos tensores traseros.

9

Utiliza tornillos M5x10, ajustaremos firmemente las piezas ensambladas en las esquinas derecha e izquierda (ver figura 86), asegurando de que queden bien alineadas y sujetas para garantizar la estabilidad del mecanismo.

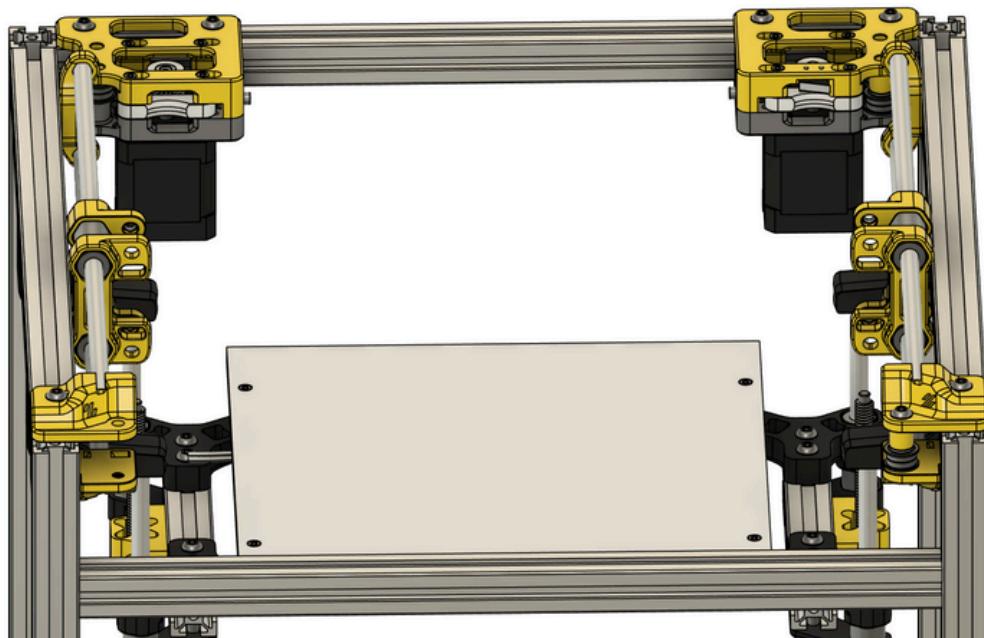


Figura 86. Tensores traseros ensamblados en la estructura de aluminio.

10

Toma las piezas `xy_joint_left_upper` y `xy_joint_left_lower`, ambas equipadas con un inserto roscado, } en la orientación indicada en la figura 84. Asegúrate que el alineamiento sea correcto para facilitar el montaje en los siguientes pasos.

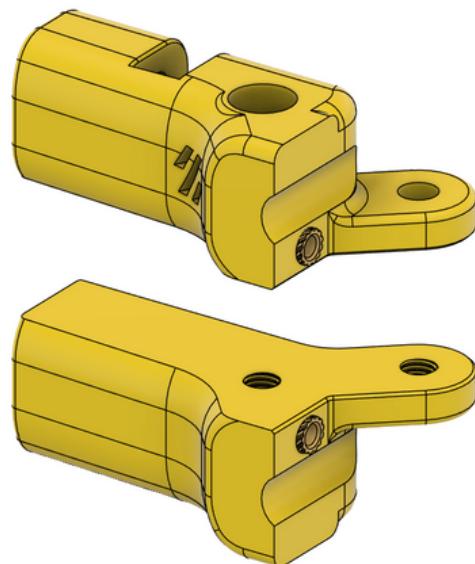


Figura 87. Piezas `xy_joint_left_upper` y `xy_joint_left_lower` con insertos roscados.

Utiliza un tornillo M5x40 para unir ambas piezas, asegúrate de insertar los componentes en el siguiente orden:

Arandela.

Rodamiento F695.

Rodamiento F695 (según la disposición de la figura 88).

Arandela.

Idler Spacer.

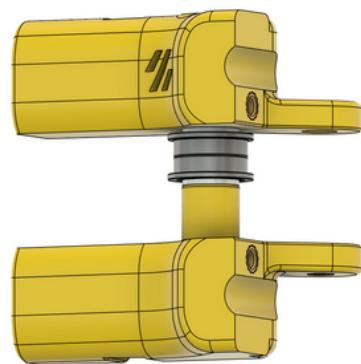


Figura 88. Resultado de la instalación de los rodamientos en la parte delantera.

Repite el proceso la parte trasera, pero esta vez insertando las piezas en orden inverso, mantén la alineación correcta (ver figura 86). Antes de ajustar completamente el tornillo, verifica que los rodamientos giren libremente para evitar fricción o bloqueos en el mecanismo.

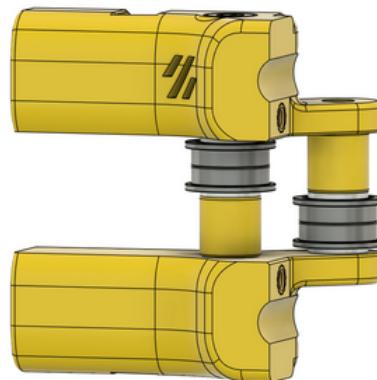


Figura 89. Resultado de la instalación de los rodamientos.

Toma las piezas xy_joint_right_upper y xy_joint_right_lower y repite el proceso anterior, siguiendo el mismo orden de componentes. Como resultado, obtendremos un par de piezas compuestas, tal como se muestra en la figura 90, listas para su instalación en el siguiente paso.

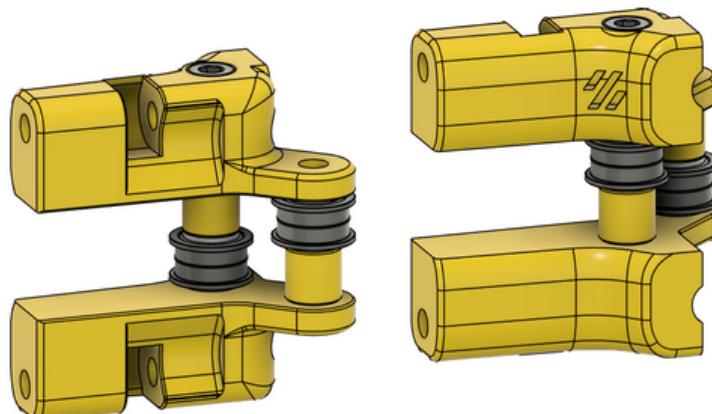


Figura 90. Resultado de las dos piezas con los componentes ensamblados.

Ajusta esta pieza (de la figura 87) utilizando tornillos M5x30, de manera que quede bien alineada y fijada a los ejes lineales Y. Con este paso, tendrás la instalación de la pieza en la estructura previamente ensamblada, como se muestra en la figura 88.

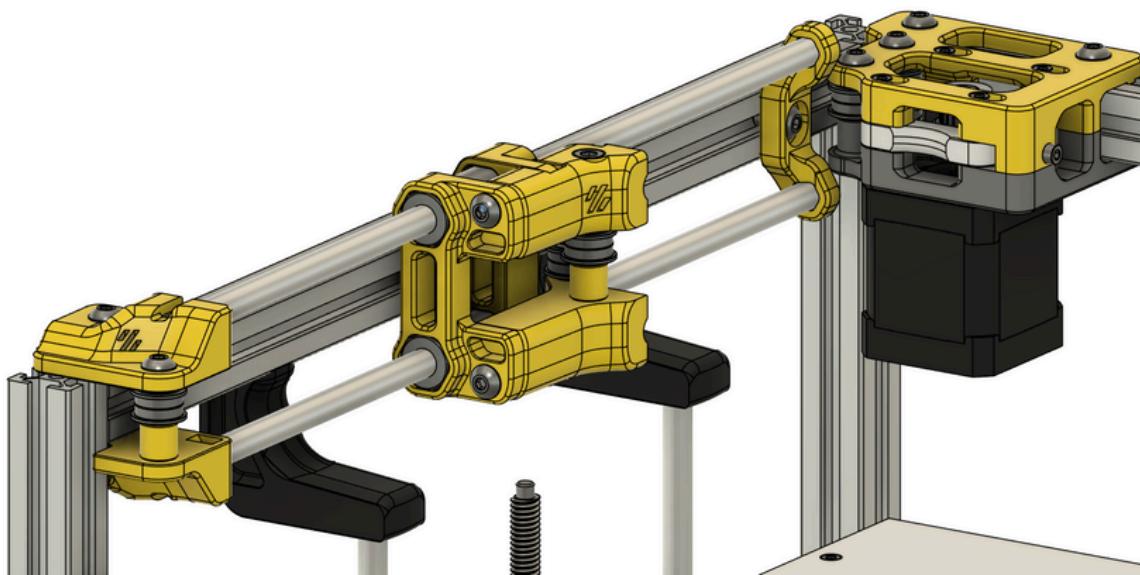
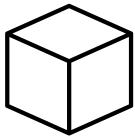


Figura 91. Lateral completo, con ejes de movimiento.

Con esto, hemos completado el ensamblaje del eje Y (revisa la figura 89), junto con los motores para el mecanismo CoreXY, asegurando que todos los componentes estén correctamente alineados y ajustados. Ahora estamos listos para proceder con el siguiente paso: el montaje del eje X.



Figura 92. Vista frontal del eje Y ensamblado.



EJE X

En esta sección, ensamblaremos los ejes lineales del eje X, asegurándonos de que estén correctamente alineados y fijados. Además, procederemos con el montaje del soporte deslizante, que servirá como base para el desplazamiento del cabezal de impresión. Sigamos los pasos cuidadosamente para garantizar un ensamblaje preciso y un movimiento fluido del sistema.

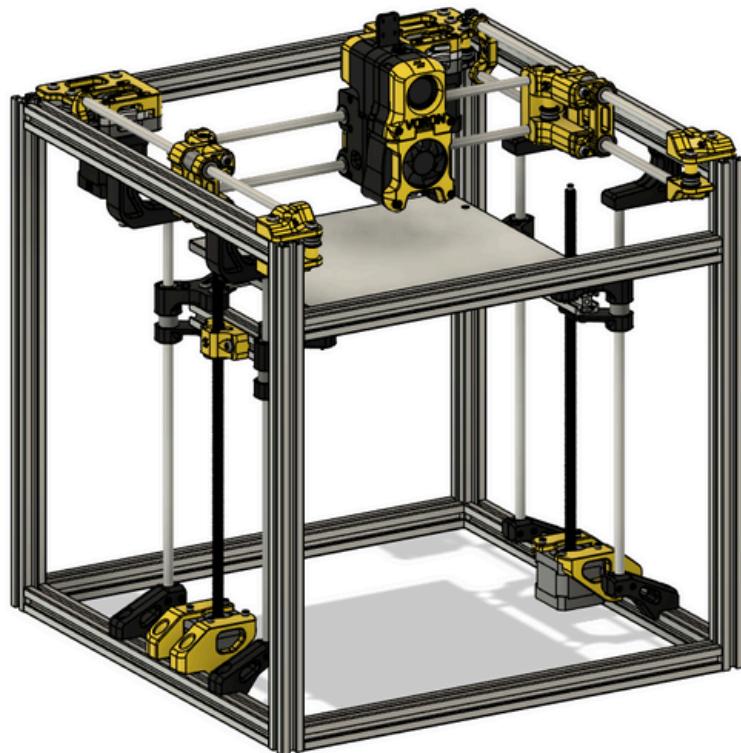


Figura 93. Vista frontal del montaje esperado terminada la sección del eje x.

Empieza por identificar las piezas necesarias, los nombres de las piezas son los mismos con los encontrados en los archivos STLs de descarga para facilitar su reconocimiento



Figura 94. Pieza xy_joint_backbrace_x2.

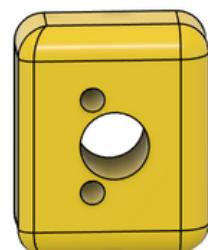
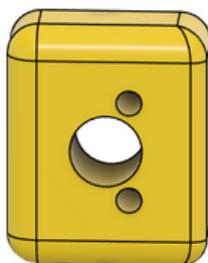


Figura 95. [a]_belt_clip_x2.



Figura 96. Ventilador 4010 de 24V.



Figura 97. Ventilador de capa 4020 de 24V.

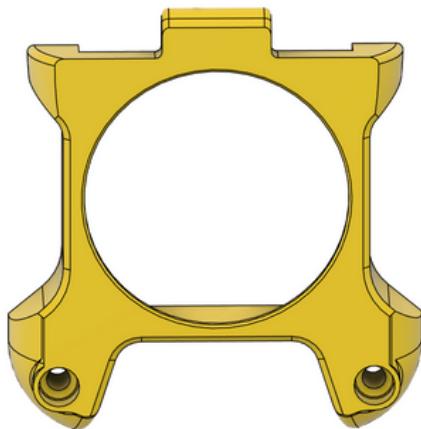


Figura 98.[a]_hotend_fan_mount.



Figura 99.[a]_blower_housing_front.



Figura 100.Pieza probe_retainer_bracket.

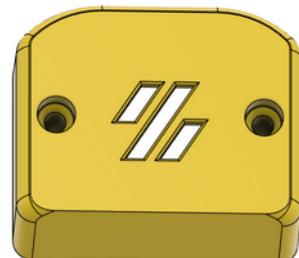


Figura 101.[a]_bowden_cable_cover.



Figura 102.Blower_housing_rear.



Figura 103.Bowden_adapter_front.



Figura 104. Bowden_adapter_midsection.

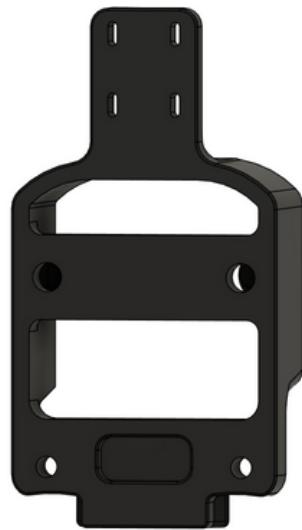


Figura 105. Bowden_adapter_rear.



Figura 106. Printhead_front_e3dv6.



Figura 107. Printhead_rear_e3dv6.



Figura 108. X_carriage_left y x_carriage_right.



Figura 109. Conector neumático Bowden ECAS04 de Teflón.



Figura 110. Rodamiento LM8LUU.



Figura 111. Insertos roscados.



Figura 112. Cartucho termistor NTC 100K.



Figura 113. Calentador de cartucho cerámico de 40W, 24V.

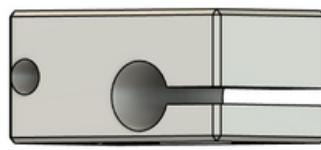


Figura 114. Bloque calefactor.



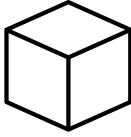
Figura 115. Boquilla (nozzle).



Figura 116. Garganta Bimetálica 1.75mm.



Figura 117. Disipador de extrusor.



EXTRUSOR E3D V6

El extrusor E3D V6 es una de las piezas fundamentales de la impresora 3D, encargado de fundir y depositar el filamento con precisión en la base de impresión. Su diseño modular permite un fácil mantenimiento y una excelente disipación de calor, lo que reduce la posibilidad de atascos y mejora la calidad de las impresiones [10].

En esta sección, sigue el paso a paso el ensamblaje del hotend E3D V6, asegúrate de que cada componente esté correctamente instalado.

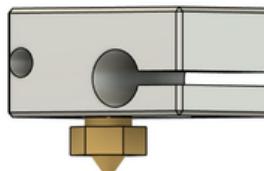


Figura 118. Bloque calefactor y boquilla.

1

Enroscamos el heatbreak en el bloque calefactor, asegurándonos de que entre completamente pero sin apretar demasiado.

2

Enroscamos el disipador de calor en la garganta, asegurándonos de que quede firme y alineado.

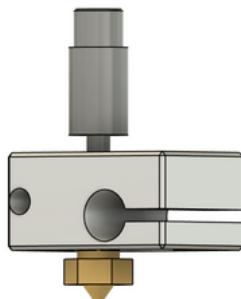


Figura 119. Bloque calefactor, garganta y boquilla.



Figura 120. Bloque calefactor, garganta, disipador y boquilla.

!

Atornilla la boquilla (nozzle) en el bloque calefactor junto con la gargaanta bimetalica y aprieta ligeramente con la mano. Posteriormente cuando tengas el cableado y componentes electrónicos (ver la página 96) calienta el hotend a unos 280°C y realiza el apriete final con una llave para evitar fugas de filamento.

3

Introduce el cartucho calentador en el bloque calefactor del Hotend E3D V6 y fíjalo en su lugar con el tornillo prisionero. Seguidamente, inserta el cartucho del termistor NTC 100K en su ranura y asegúralo con el tornillo de sujeción, prestando especial atención de no apretarlo demasiado para evitar dañar los sensibles cables del componente, mira la figura 121.

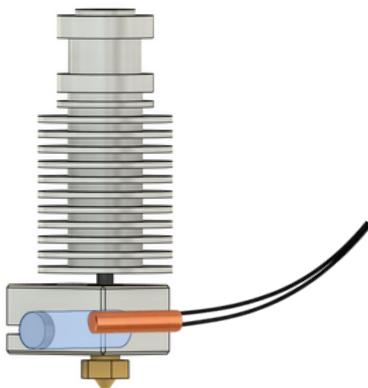
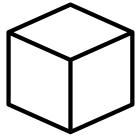


Figura 121. Bloque calefactor, garganta, disipador y boquilla.



KLICKY PROBE



Este paso es una modificación respecto al modelo original.

Una de las modificaciones que se pueden realizar a la Voron Legacy es reemplazar la sonda de nivelación por defecto por una Klicky Probe. En esta sección se detalla qué es y cómo implementarla.

¿Qué es la Klicky Probe?

La siguiente explicación sobre el funcionamiento y las ventajas de la Klicky Probe se basa en la documentación de su repositorio oficial en GitHub [11].

La Klicky Probe es un sistema de nivelación de cama que utiliza un microinterruptor (microswitch) como mecanismo de sondeo. A diferencia de las sondas inductivas o capacitivas que están permanentemente fijadas al cabezal de impresión, la Klicky Probe se acopla y desacopla magnéticamente de forma automática.

Cuando la impresora necesita realizar un sondeo (homing en Z, nivelación de cama, etc.), el cabezal se mueve a un soporte específico, recoge la sonda magnéticamente, realiza sus mediciones y, al finalizar, la devuelve a su soporte.

Importancia y ventajas sobre una sonda inductiva

La sonda inductiva es un componente común en la versión original de la Voron Legacy. Aunque cumple su función, presenta ciertas limitaciones que la Klicky Probe pretende resolver.

Una de las principales limitaciones de la sonda inductiva es su sensibilidad a las variaciones térmicas. El rendimiento de la sonda puede verse afectado por la temperatura de la cama de impresión, ya que la distancia de detección cambia al calentar la cama a distintas temperaturas, como 60°C para PLA y 110°C para ABS. Esto puede requerir recalibrar el Z-offset, lo que aumenta la complejidad del proceso de impresión. Como se especifica en las hojas de datos de fabricantes como OMRON para sus sensores E2A-S, la distancia de detección puede tener una desviación de hasta un ±10% dentro de su rango de operación normal debido a la influencia de la temperatura [12].

En cambio, la Klicky Probe, al ser un interruptor mecánico, no se ve afectada por la temperatura de la cama. Su punto de activación es físico, lo que garantiza una repetibilidad extremadamente alta y consistente, independientemente del material con el que se imprima. Esto se traduce en un proceso de impresión más estable y predecible [11].

Otra limitación de la sonda inductiva es su compatibilidad restringida con ciertos tipos de superficies de impresión. La sonda inductiva solo funciona con superficies metálicas. Su principio de funcionamiento se basa en la detección de metales ferrosos, como se indica en las especificaciones técnicas de los fabricantes. Esto la hace incompatible con superficies de materiales no metálicos como el vidrio [12].

Por otro lado, la Klicky Probe tiene la capacidad de tocar físicamente cualquier tipo de superficie, lo que la hace compatible con una amplia variedad de materiales de cama de impresión. Esto ofrece una gran flexibilidad para experimentar con diferentes superficies, adaptándose fácilmente a las preferencias y necesidades del usuario [11].

Principio de funcionamiento básico

Antes de ensamblar, es útil entender cómo funciona., el principio de la Klicky Probe es simple, el cuerpo de la sonda alberga un microinterruptor. Cuando la punta de la sonda toca la cama de impresión, presiona físicamente el botón del interruptor, lo que cierra un circuito eléctrico. Esta señal se envía a la placa base y se registra como un punto de contacto, de la misma manera que un final de carrera tradicional [11].

Paso a paso del ensamblaje

A continuación, se detalla el proceso general de ensamblaje. Es fundamental consultar siempre la guía oficial en el repositorio de GitHub para obtener las instrucciones más actualizadas.

[Consulta haciendo clic aquí](#)

1

Preparación de Componentes:

Todos los archivos STL necesarios, así como una guía de ensamblaje detallada, se encuentran en el repositorio oficial del proyecto en GitHub. Se recomienda utilizar filamento ABS o PETG para una buena resistencia al calor.

Hardware Necesario:

Componente	Descripción
Microinterruptor	Recomendado el Omron D2F-01L
Imanes de neodimio	6x3 mm
Tornillería	M2 y M3
Cableado	Fino y flexible, AWG 28-30

Tabla 11. Componentes necesarios para la sonda Klicky.

Adaptado de [11].



Imprime todas las piezas necesarias del repositorio oficial: el cuerpo de la sonda (Probe), el soporte para el cabezal (Dock) y el soporte para el marco de la impresora (Mount). Ver figura 122.

Asegúrate de tener la polaridad de los imanes correcta antes de insertarlos. Un imán debe atraer a su contraparte. Puedes marcarlos con un rotulador para no confundirte.

Preparación del Microinterruptor: Si los pines del microinterruptor tienen agujeros pequeños, puedes pasar los cables a través de ellos y soldarlos.

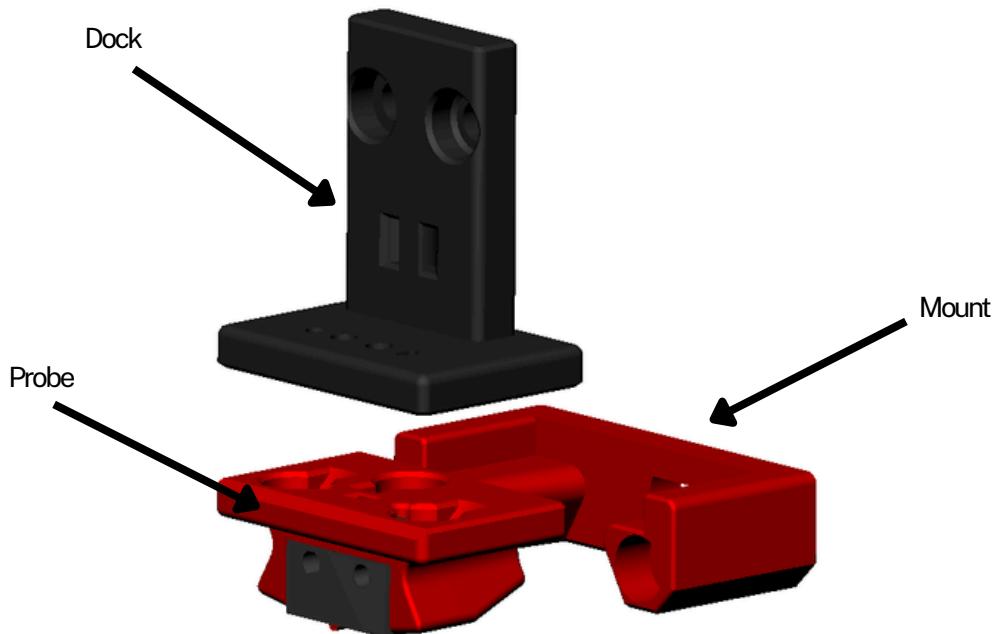


Figura 122. Partes de la sonda Klicky.
Adaptado de [11].

2

Ensamblaje de la Sonda (Probe):

Como se muestra en la figura 123, inserta los imanes en sus respectivos alojamientos en el cuerpo de la sonda, asegurándote de que queden bien fijos. Si el ajuste resulta flojo, puedes utilizar una gota de superpegamento para asegurar los imanes en su lugar.

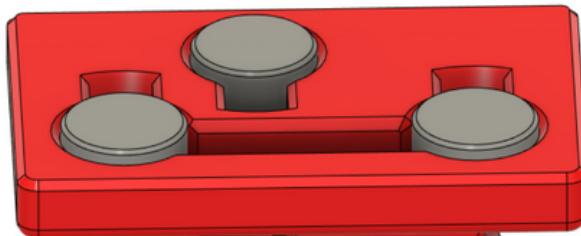


Figura 123. Alojamiento para los imanes.
Adaptado de [11].

Luego, coloca el microinterruptor en su posición, verificando que el botón pulsador quede orientado correctamente. Fija el microinterruptor utilizando los tornillos M2 correspondientes (ver la figura 124 parte derecha). Finalmente, pasa los cables a través de las guías de la pieza impresa para mantenerlos organizados y evitar que se enreden durante el funcionamiento.

3

Ensamblaje del soporte

Para el ensamblaje del soporte del cabezal (dock), comienza insertando los imanes en el soporte que se montará en el cabezal de impresión (ver figura 124). Verifica que la polaridad de los imanes sea la correcta, ya que esto es fundamental para que atraigan y alineen la sonda adecuadamente cuando se acerque. Luego, monta esta pieza en el cabezal de la impresora, dentro del carro del eje X, utilizando tornillería M3 para fijarla de manera segura.



Figura 124. Partes ensambladas de la sonda klicky. Adaptado de [11].

4

Ensamblaje de la Sonda (Probe):

Para el montaje del soporte en el marco (mount), comienza ensamblando la pieza que sostendrá la sonda cuando no esté en uso (ver figura 125). Luego, fija este soporte al marco de perfiles de aluminio de la impresora, la ubicaremos en la parte trasera en la mitad del perfil. Esta posición elegida es accesible, de modo que el cabezal pueda moverse libremente para acoplar y desacoplar la sonda sin riesgo de colisiones durante el movimiento.

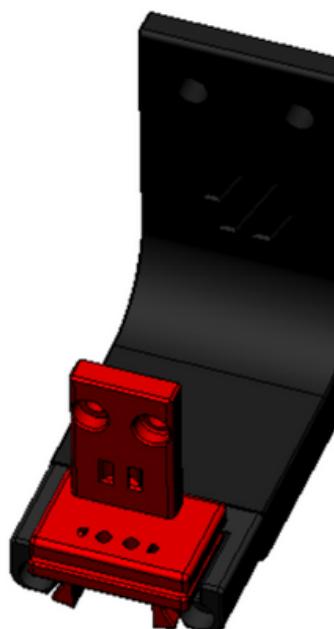
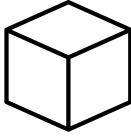


Figura 125. Aspecto de la sonda klicky con todas las partes.

Adaptado de [11].



CARRO DEL EJE X

1

Empieza tomando las piezas x_carriage_left y x_carriage_right, ubica los insertos roscados en las posiciones indicadas en la figura 126. Los insertos deben quedar correctamente fijados.



Figura 126. Piezas x_carriage_left y x_carriage_right con sus respectivos insertos roscados.

Une las piezas x_carriage_left y x_carriage_right, verifica que el ensamblaje quede firme y correctamente alineado.

Luego, inserta los dos rodamientos lineales LM8UU en la estructura ensamblada como se muestra en la figura 127.

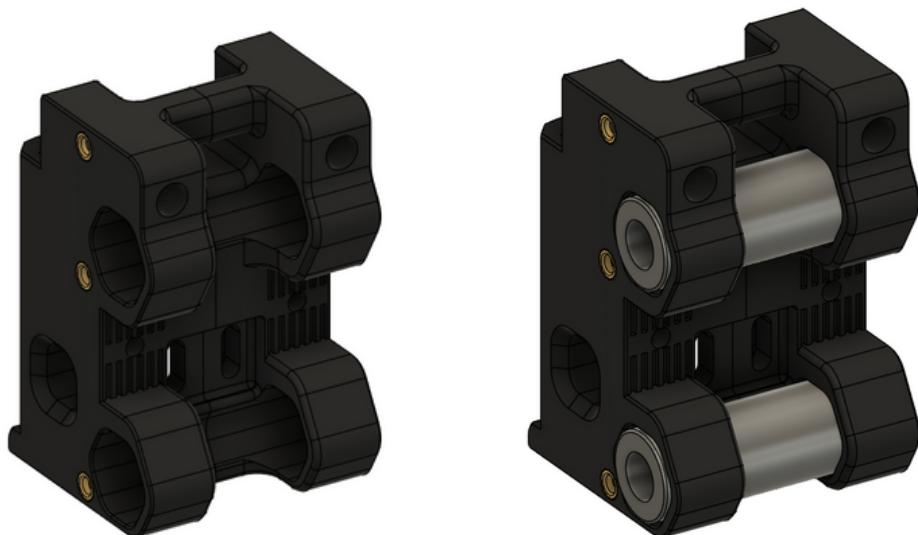


Figura 127. Piezas x_carriage_left y x_carriage_right unidas con los rodamientos.

A continuación, une la pieza que acabas de ensamblar utilizando los tornillos M3x40 para asegurarla en su posición.



Figura 128. Pieza resultante con rodamientos y fija con tornillos.

Atornillaremos las piezas [a]_belt_clip y probe_retainer_bracket utilizando un tornillo M3x30. Obteniendo así las piezas de la figura 129.

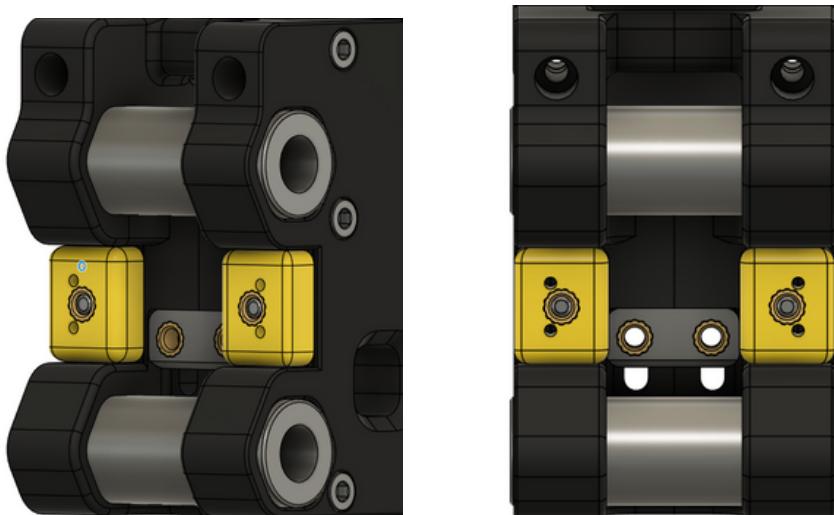


Figura 129. Pieza resultante con rodamientos y fija con tornillos.



Un error al ensamblar piezas impresas en 3D es apretar los tornillos en exceso. A diferencia del metal, el plástico puede deformarse, agrietarse o las capas pueden separarse si se aplica demasiada fuerza. La mejor práctica es atornillar hasta que sientas que la cabeza del tornillo hace un contacto firme con la superficie de la pieza. En ese punto, dale solo un pequeño giro adicional (aproximadamente 1/8 o 1/4 de vuelta) para asegurararlo. Esto crea una unión sólida y resistente a las vibraciones sin estresar el material.

2

Las piezas bowden_adapter_front y bowden_adapter_midsection deberán llevar insertos roscados en las posiciones indicadas en la imagen. Asegurémonos de fijarlos correctamente para garantizar una sujeción firme y segura en el ensamblaje final.



Figura 130. Posición de los insertos roscados para los componentes bowden_adapter_front y bowden_adapter_midsection .

La pieza bowden_adapter_front, posiciónala con la pieza bowden_adapter_midsection y, finalmente, añade la pieza bowden_adapter_rear.

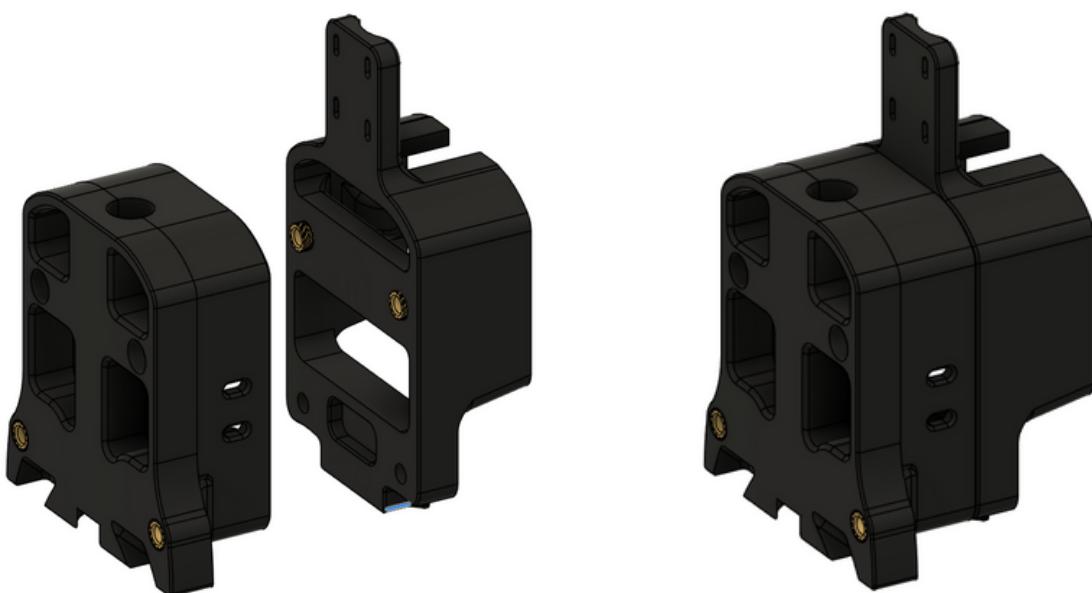


Figura 131. Alineación de las piezas bowden_adapter_front, bowden_adapter_midsection y bowden_adapter_rear.

Utiliza tornillos M3x30 para fijar las piezas ensambladas y añade el conector neumático Bowden ECAS04 de Teflón. En la parte trasera la pieza [a]_bowden_cable_cover irá fija con tornillos M3x16 (ver figura 132).

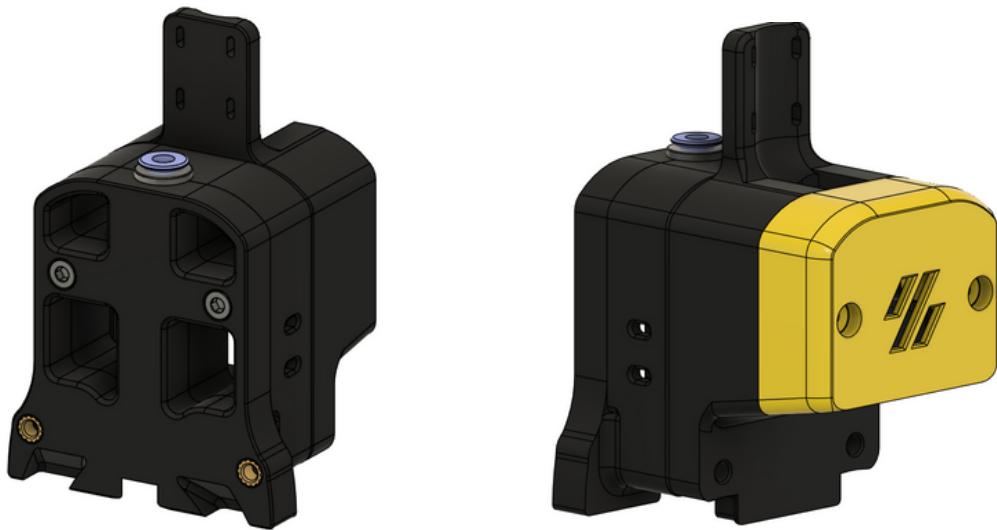


Figura 132. Vista de la pieza junto con [a]_bowden_cable_cover.

Une la pieza blower_housing_rear, a la ajustarás el ventilador de capa 4020 de 24V, este debe quedar bien fijado para una correcta refrigeración durante la impresión.



Figura 133. Pieza blower_housing_rear a la cual le insertamos el ventilador de capa.

Usa los tornillos M3x16 para unir el ventilador



Figura 134. Pieza para la ventilación de capa.

Añade el componente de la figura 134, fíjate que el ventilador de capa 4020 de 24V haya quedado bien ajustado y correctamente orientado para un flujo de aire eficiente.



Figura 135. Conjunto de piezas alienadas y con ventilador de capa.

3

Uniremos las piezas ensambladas en el paso 1 y el paso 2, logrando una estructura conjunta como la mostrada en la figura 136.

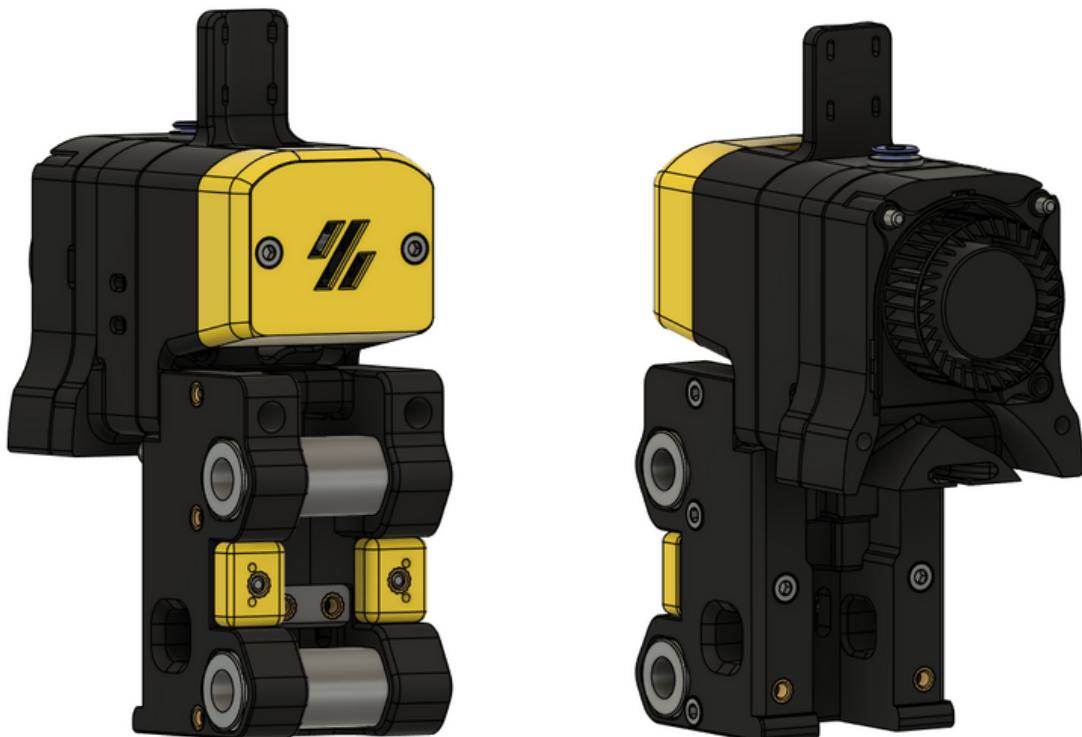


Figura 136. Unión de las piezas resultante de los pasos 1 y 2.

4

Ubicación de la sonda Klicky en el carro del eje x

La figura 137 ilustra la relación entre los componentes principales. A la izquierda se muestra el cabezal de impresión completo (carro del eje X). A la derecha, se ven las dos partes que conforman el sistema Klicky: el soporte (en negro), que se fija al marco de la impresora, y la propia sonda Klicky (en rojo), que reposa sobre este soporte. El proceso automatizado consiste en que el cabezal se acerque a esta posición para recoger o depositar la sonda mediante un acoplamiento magnético.

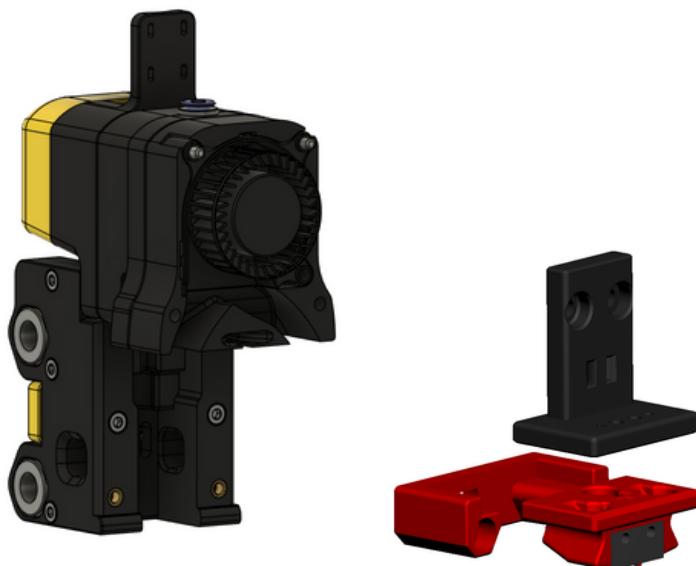


Figura 137. Cabezal de impresión y sonda klicky.

5

Ubica el Extrusor E3DV6 ya ensamblado y lo ajustas con la pieza printhead_rear_e3dv6, debe encajar correctamente para proceder con su fijación en los siguientes pasos. Usaremos tornillos M3x16 para fijar firmemente el Extrusor E3DV6.



Figura 138. Ubicación del extrusor.

La pieza printhead_front_e3dv6 debes ubicarla en la parte delantera del extrusor E3D V6. Antes de fijarla, se ajustan los insertos roscados en las posiciones indicadas. Luego, asegura firmemente al resto de la estructura utilizando tornillos M3x40.

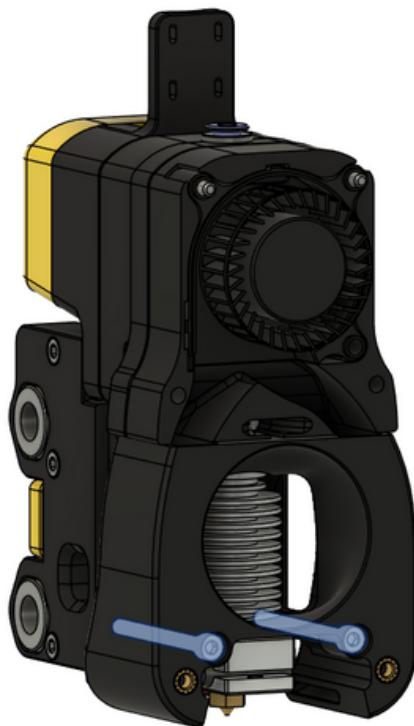


Figura 139. Ubicación de la pieza printhead_front_e3dv6.

6

En la pieza [a]_hotend_fan_mount, ubica el ventilador axial 60x60x20 (24V) para el disipador como se muestra en la figura 140.

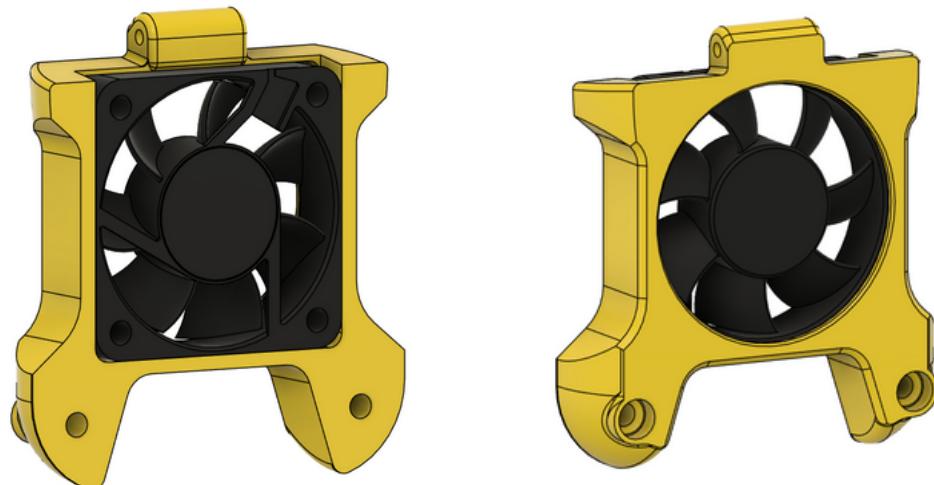


Figura 140. Ubicación del ventilador axial 60x60x20 (24V).

La pieza de la figura 140, será ajustada a nuestra estructura principal utilizando tornillos M3x12.

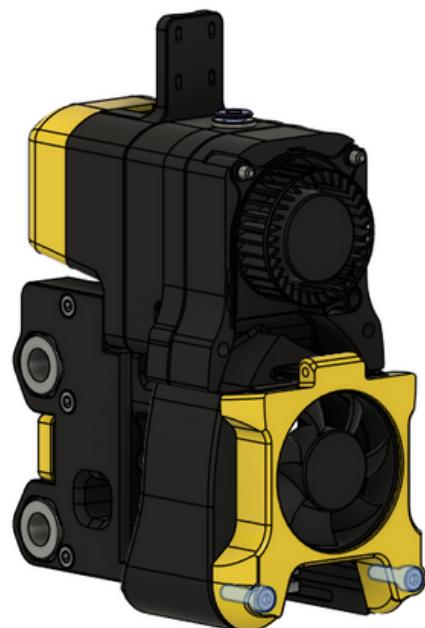


Figura 141. Ubicación del ventilador axial 60x60x20 (24V).

Finalmente, utilizaremos tornillos M3x30 para fijar la pieza [a]_blower_housing_front a nuestra estructura, completando así el ensamblaje del carro del eje X. Con esto, tendremos una única pieza lista para ser montada en los ejes lineales.



Figura 142. Aspecto del carro del eje X completamente ensamblado y preparado para su montaje final.

Pasa las varillas de los ejes lineales a través de los rodamientos LM8UU, asegúrate que se deslicen suavemente.



Figura 143. Montaje del carro de eje x en los ejes lineales

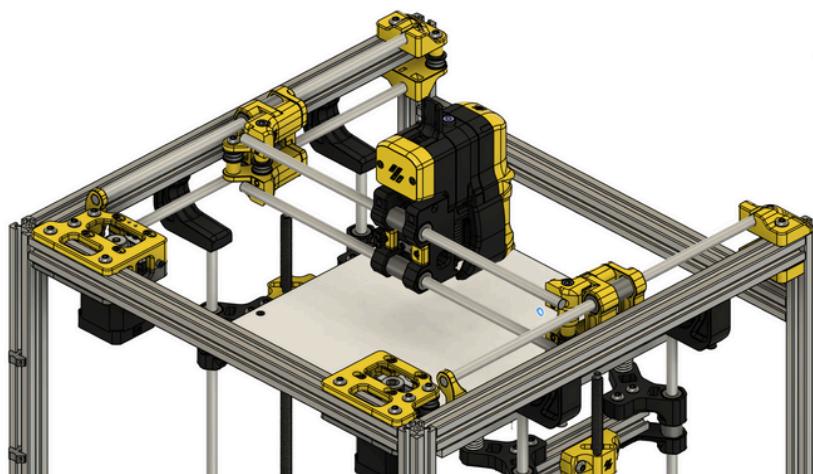


Figura 144. Ubicación del carro del eje x en la estructura.

Con tornillos M3x12, fija las piezas xy_joint_backbrace, las cuales asegurarán los ejes lineales (ver figura 145), proporcionando estabilidad y alineación adecuada al sistema de movimiento.



Figura 145. Fijación de los ejes lineales para el eje x.



Figura 146. Vista trasera de la estructura.

Finalmente, con este paso completado, nuestro ensamblaje contará con los ejes X e Y completamente instalados como se muestra en la figura 147.

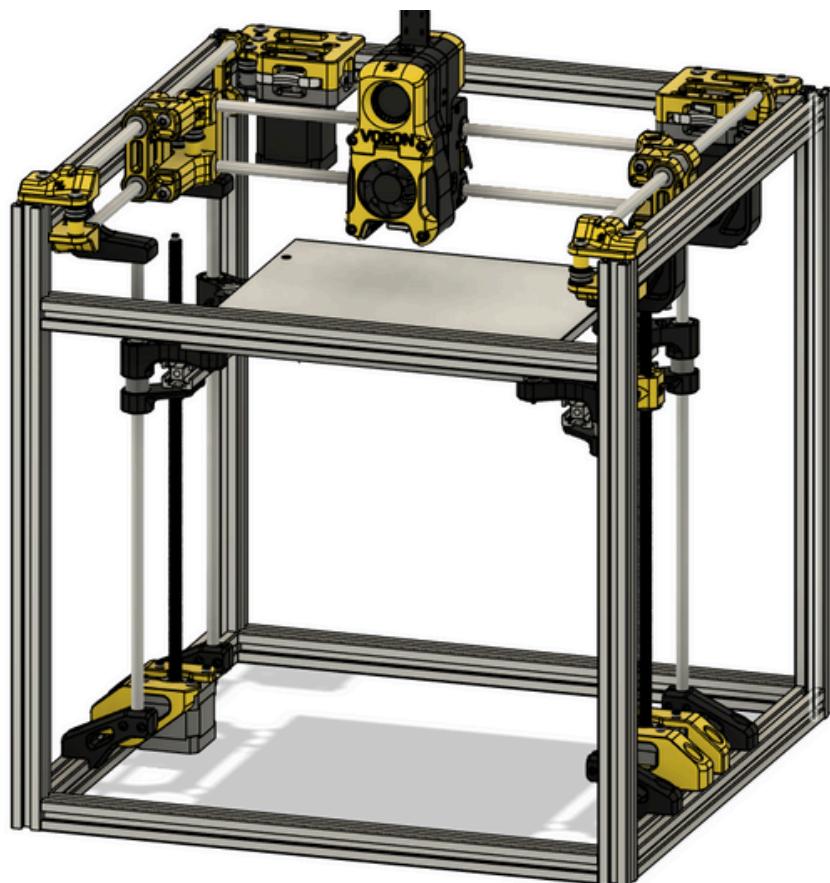
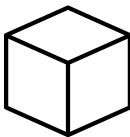


Figura 147. Ensamblaje final de los ejes X e Y.



EXTRUSOR VORON M4

El extrusor Voron M4 es un componente clave de la impresora, responsable de empujar el filamento hacia el hotend de manera precisa y constante. Un ensamblaje correcto de este módulo es fundamental para garantizar una extrusión fiable, minimizar el riesgo de atascos y, en última instancia, lograr una alta calidad de impresión [13].

Aunque el manual oficial del proyecto Voron es la referencia principal, el objetivo de esta sección es complementar dicha documentación con imágenes y consejos que puedan facilitar el proceso.

Recursos oficiales

Antes de comenzar, es indispensable que descargues los recursos oficiales desde la página del proyecto. Allí encontrarás tanto el manual de ensamblaje original como los archivos STL necesarios para imprimir las piezas del extrusor.

Página Oficial del Proyecto: [VORON M4 Extruder](#)



Figura 148. Extrusor Voron M4.



Para el ensamblaje de esta sección, el equipo de Voron Design proporciona un manual oficial y detallado. Se recomienda encarecidamente visitar y consultar este documento original, ya que es la fuente de información principal y más actualizada.

Comienza identificando las piezas que utilizaremos para el ensamblaje del extrusor. Los nombres de las piezas impresas en este manual coinciden con los nombres de los archivos de descarga oficiales. Esto facilitará su identificación y asegurará que utilices las piezas correctas durante el ensamblaje.

Antes de comenzar, verifica que tienes todas las piezas impresas y compáralas con los nombres en los archivos de descarga.

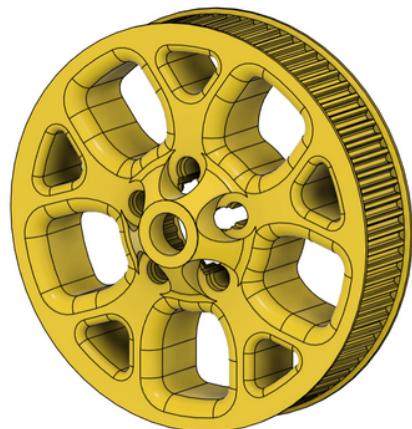


Figura 149. [a]_80t_gear.



Figura 150. [a]_guidler.



Figura 151. [a]_latch.



Figura 152. Motor_plate.

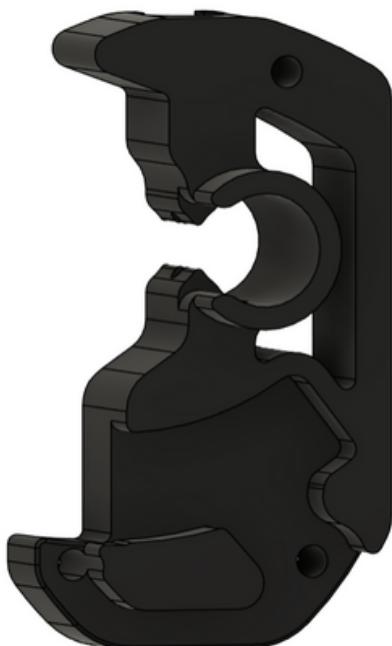


Figura 153. Main_body.



Figura 154. Latch_shuttle.



Figura 155. End_plate.

Además de las piezas impresas, también necesitaremos los siguientes componentes para completar el ensamblaje del extrusor.



Figura 156. 2 Poleas GT2 de 20 dientes.



Figura 157.1 tornillo de mariposa M3x20.



Figura 158. Resorte 4 mm de diámetro.



Figura 159. Engranaje de transmisión
BMG (BMG Drive Gear) 1.75.



Figura 160. Bondtech Idler (o polea tensora).



Figura 161. Conector neumático Bowden ECAS04 de Teflón.



Figura 162. Correa cerrada GT2 de 188 mm de longitud.



Figura 163. Insertos roscados.



Figura 164. Motor nema 17.



Figura 165. Eje de 5 mm de diámetro y 48 mm de longitud.



Figura 166. 2 rodamientos F695.

A continuación se detalla el paso a paso del ensamblaje:

1

Toma la pieza Polea GT2 de 20 dientes y, con cuidado, retira la tapa de la parte delantera utilizando unas pinzas. Al hacerlo, deberías obtener una pieza como la que se muestra en la figura 167 en la parte derecha.



Figura 167. En la parte derecha se tiene la vista de la polea después de quitar la tapa.

Inserta la polea GT2 de 20 dientes en la pieza [a]_80t_gear.



Figura 168. Pieza [a]_80t_gear con polea.

En esta pieza, inserta 5 tornillos M3 en las ubicaciones indicadas, verificando que estén bien alineados.

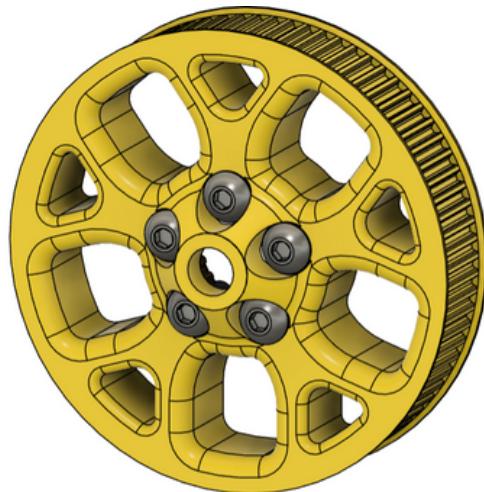


Figura 169. Pieza [a]_80t_gear con polea tras
ajustar con tornillos M3 (vista delantera).

Con la otra polea GT2 de 20 dientes, la sitúas en el eje del motor paso a paso en la orientación que indica la figura 170. Una vez posicionada correctamente, la polea se asegura utilizando el tornillo prisionero.



Figura 170. Motor con polea.

En este momento, realiza solo un apriete ligero de la polea. Es muy probable que necesites hacer un ajuste final de la altura una vez que instales las correas y puedas ver su recorrido completo.

2

A la pieza end_plate debes insertar un rodamiento F695 en el agujero central, verificando que quede bien ajustado. Además de añadir los insertos roscados.



Figura 171. Pieza end_plate con rodamiento F695.

También añade un inserto roscado en la pieza latch_shuttle.



Figura 172. Pieza latch_shuttle con inserto roscado.



Verifica la correcta instalación del rodamiento F695 inspeccionando la pieza de lado; este debe estar perfectamente plano y al ras con la superficie, sin sobresalir ni estar inclinado. Una vez confirmada la alineación, introduce un tornillo o una herramienta pequeña en su agujero central para comprobar que gire con total suavidad y sin fricción.

3

Toma el eje de 5x48 mm y procede a insertar las piezas correspondientes en el siguiente orden y la disposición que se muestra en la figura 173.

Rodamiento F695.

Espaciador impreso de 4 mm (4mm Printed Spacer).

Engranaje de transmisión BMG (BMG Drive Gear).



Figura 173. Ubicación de componentes en el eje de 5x48 mm.

Coloca el engranaje de transmisión a 8 mm del extremo del eje y asegúralo apretando el tornillo prisionero. Es recomendable utilizar bloqueador de roscas para evitar que el tornillo se afloje durante el uso.



Es importante verificar el ajuste de los rodamientos. Los rodamientos deben deslizarse fácilmente sobre el eje sin necesidad de presión. Evita presionar los rodamientos sobre el eje, ya que esto podría dañarlos. Si es necesario, lija ligeramente el eje para asegurar un buen ajuste.

4

Ahora, el ensamblaje del paso 3 (figura 173) ubicalo en la pieza motor_plate. Asegúrate que el eje se alinee correctamente con el agujero diseñado para ello.



Figura 174. Ubicación del eje en la pieza motor_plate.

Posteriormente, ubica la pieza main_body, ten en cuenta ordenarla cuidadosamente con el ensamblaje anterior (figura 174). Asegúrate de que las piezas encajen correctamente, verificando que los agujeros coincidan perfectamente.



Figura 175. Ubicación de la pieza main_body en el montaje.

Finalmente, con la pieza end_plate la alineas con el resto del ensamblaje, debe encajar perfectamente con las demás piezas, como el motor_plate y main_body.



Figura 176. Ubicación de la pieza end_plate.

A continuación, con las piezas latch_shuttle y latch, ubícalas según la orientación que se muestra en la figura 177. Ambas piezas deben encajar correctamente en sus respectivos espacios, como se indica en el diseño.

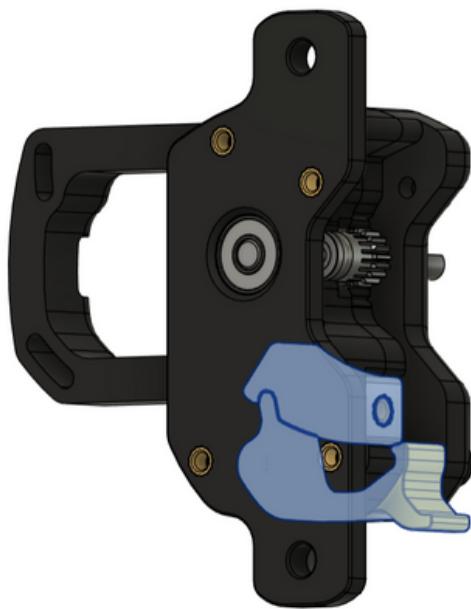


Figura 177. Piezas latch_shuttle y latch alineadas.

Ubica la pieza [a]_guidler en su posición correspondiente (ver figura 178), busca que esté bien alineada con el resto de las piezas. Una vez colocada correctamente, utiliza 4 tornillos M3x30, atornillando de manera uniforme para garantizar que la pieza quede firmemente sujetada.

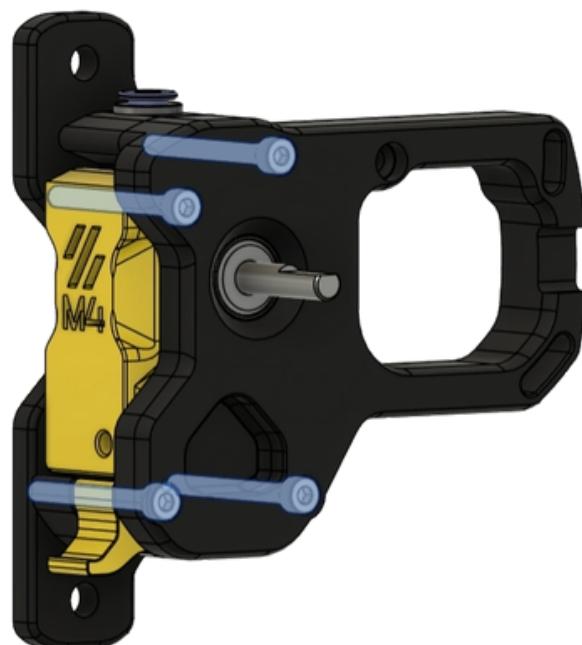


Figura 178. Pieza [a]_guidler posicionada y ajustada.

En el agujero de la pieza [a]_guidler, inserta 1 tornillo de mariposa M3x20 junto con un resorte de 4 mm de diámetro. Asegúrate de que el resorte esté ligeramente ajustado, permitiendo que el tornillo de mariposa pueda moverse y proporcionar la tensión adecuada para el funcionamiento del sistema.



Figura 179. Ubicación y ajuste del tornillo mariposa M3x20.

Posiciona el conector neumático Bowden ECAS04 de Teflón en la parte superior de la pieza main_body, insertándolo cuidadosamente en el agujero correspondiente (ver figura 180).



Figura 180. Posición del neumático Bowden ECAS04.

Sitúa la pieza del paso 1 (ver figura 169) en el eje lineal. Verifica que la pieza se desplace suavemente a lo largo del eje, sin resistencia excesiva, y ajusta si es necesario para asegurar un movimiento fluido.



Figura 181. Lugar de la pieza [a]_80t_gear con polea en el montaje.

Instala el motor en su posición correspondiente como se muestra en la figura 182 y lo ajustas brevemente utilizando tornillos M3x12 y arandelas M3 para los dos tornillos de ajuste. El motor debe estar alineado correctamente con las piezas adyacentes.

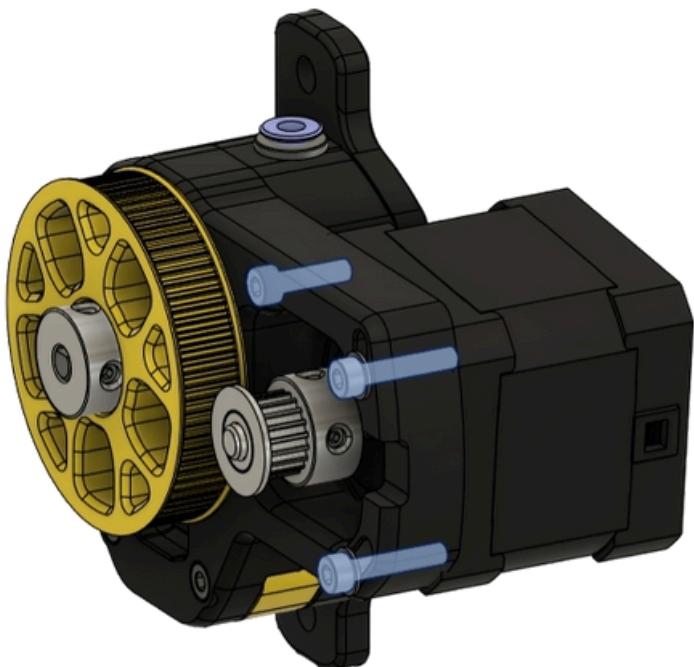


Figura 182. Disposición del motor en el ensamblaje del extrusor.

Finalmente, añade la correa cerrada GT2 de 188 mm de longitud. Ajusta la posición de la polea en el motor paso a paso si es necesario. La correa no debería tener roce con las bridas de la polea ni con ninguna otra parte del ensamblaje, ya que esto podría generar fricción y afectar el rendimiento del sistema. Verifica que la correa esté bien alineada y tensada, pero sin exceso de tensión.

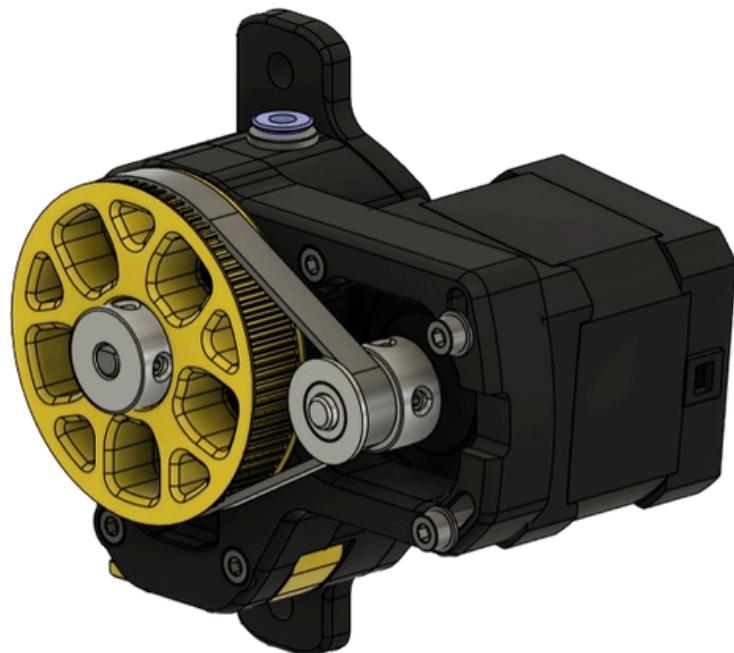


Figura 183. Montaje con correa cerrada GT2.

A continuación, procede a instalar el extrusor en la esquina superior derecha de la estructura de la impresora como se muestra en la figura 184. Para ello, usa tornillos M5x10, confirmando que quede bien fijado.

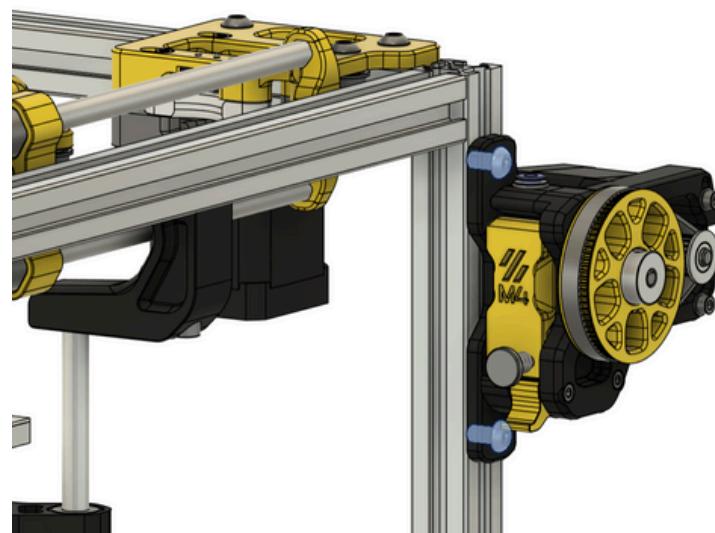


Figura 184. Vista del extrusor posicionado en la estructura de aluminio.

Luego, usa los conectores neumáticos Bowden ECAS04, inserta el tubo de teflón que se dirigirá hasta el carro del eje X. Por este conducto circulará el filamento hasta llegar al hotend, donde será calentado y fundido para su deposición en la cama de impresión.

Después de esto, instala el soporte de filamento (spool holder) directamente en la estructura, debajo de la ubicación del extrusor, utilizando un tornillo M5x16. Este soporte será el lugar donde reposará la bobina de filamento, permitiendo su alimentación continua hacia el extrusor.

Con esto, se da por finalizada la fase de ensamblaje mecánico de nuestra impresora 3D Voron Legacy. En la próxima sección, se aborda el cableado y la conexión de todos los componentes electrónicos.

Tu impresora, hasta este punto, debe lucir similar a la figura 185 de referencia que se muestra a continuación:

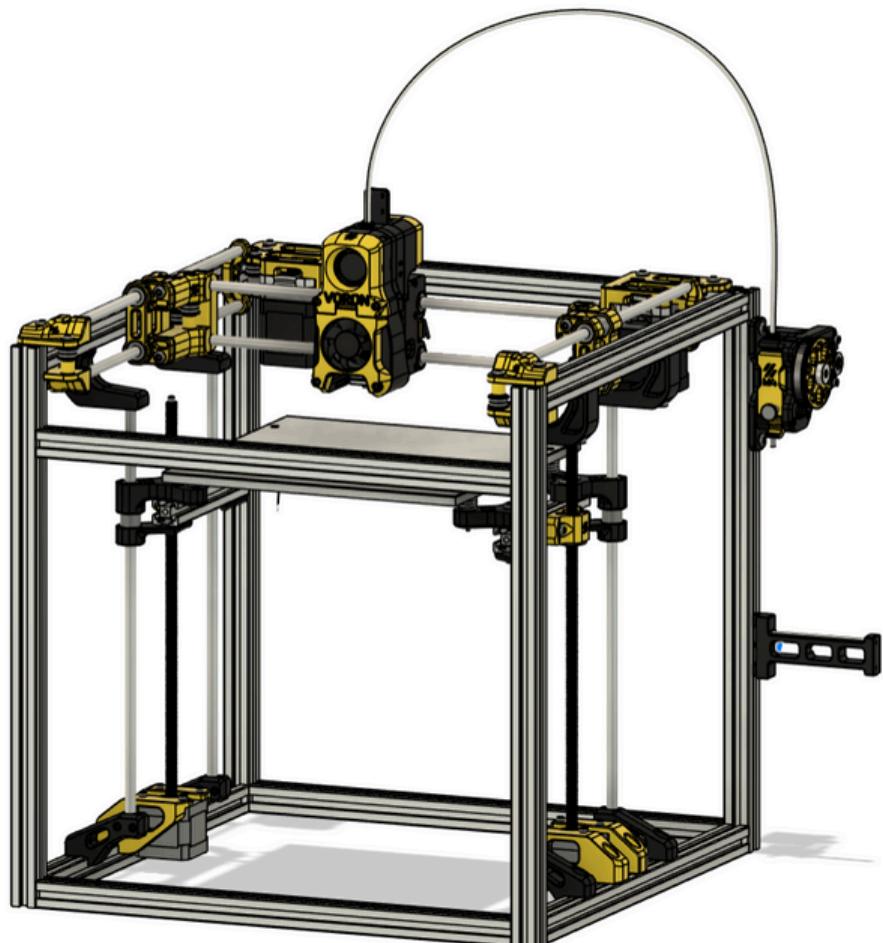
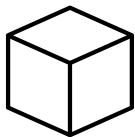


Figura 185. Vista de la impresora con el montaje completo del extrusor Voron M4.



CONEXIÓN ELÉCTRICA

!

Las recomendaciones descritas a continuación se realizan por precaución y con el objetivo de prevenir riesgos eléctricos y posibles incendios.

Durante el proceso de cableado de la impresora, se trabajará con voltaje de línea (120V / 220V AC).

Es imprescindible verificar que la impresora esté completamente desconectada de la corriente antes de tocar cualquier cable o terminal. Además, asegúrate de que los condensadores de las fuentes de alimentación se hayan descargado por completo.

Nunca conectes ni desconectes los motores mientras la impresora esté energizada. Los motores paso a paso son cargas inductivas que, al ser desconectadas bruscamente, generan picos de voltaje inverso que pueden dañar los componentes electrónicos. Como se especifica en la hoja de datos del driver TMC2209, el voltaje máximo absoluto que el chip puede soportar es de 32V [14].

Recuerda:

- Desconecta la impresora de la red eléctrica antes de realizar cualquier conexión.
- Verifica que el voltaje de entrada (110V o 220V) sea el correcto según tu región.
- No dejes cables pelados, sin aislamiento o mal fijados.
- Trabaja en un área seca y con buena ventilación.



Si no tienes experiencia previa, se recomienda practicar crimpado y soldadura antes de realizar el cableado definitivo. Los crimps mal hechos son una de las causas más comunes de fallos eléctricos difíciles de detectar.

Esquema general de conexiones

A continuación se presenta el esquema de conexiones de todo el sistema de la impresora. Este diagrama ofrece una vista general de cómo se interconectan los principales componentes: la Raspberry Pi Zero 2 W, la placa controladora SKR1.4, los drivers TMC2209, motores y sensores.

Este esquema sirve como referencia visual y guía base. En las siguientes secciones se explicará cada conexión de forma detallada y paso a paso, con el fin de que puedas comprender como realizar el cableado de manera correcta, ordenada y segura.

Motores paso a paso

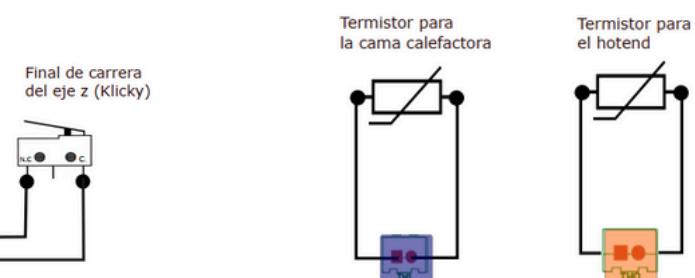
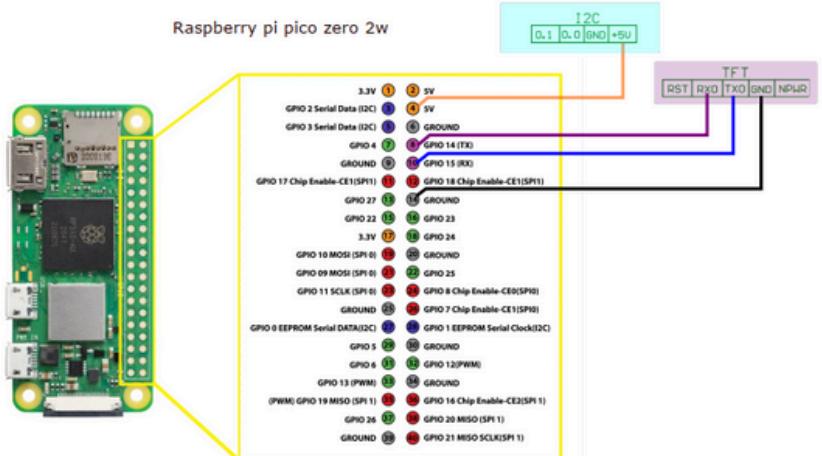
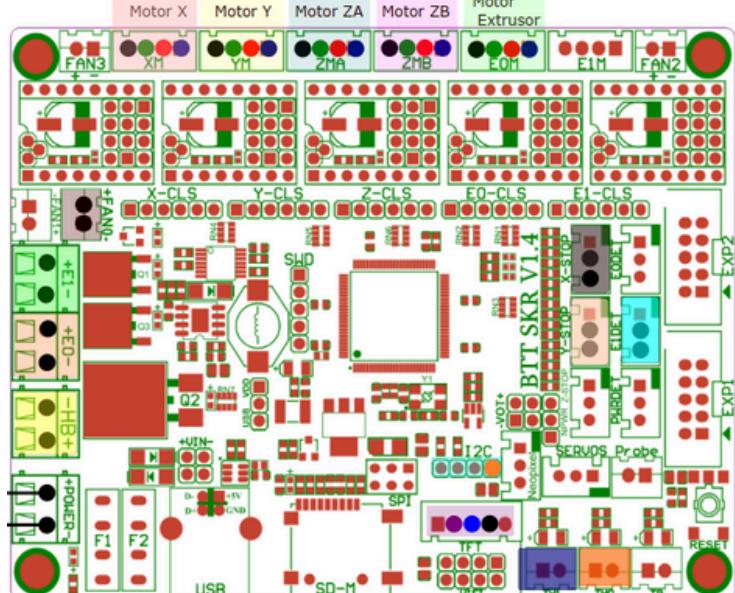
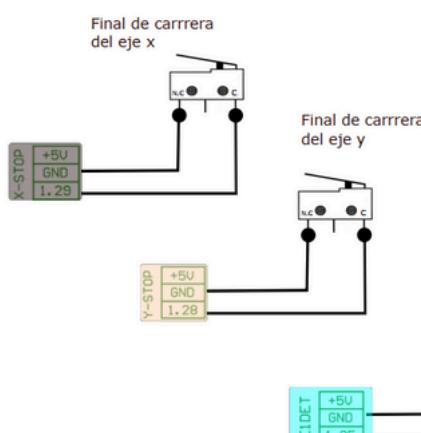
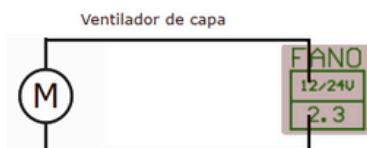
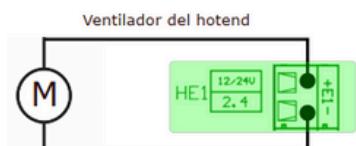
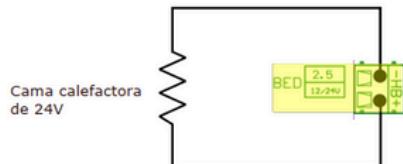
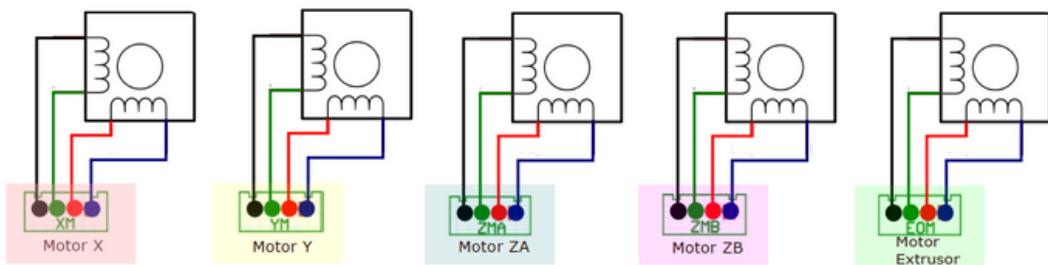


Figura 186. Esquema general de conexión.

En el proceso de conexión de los componentes de la impresora 3D, se ha implementado un sistema de codificación por colores y etiquetas para facilitar la identificación y conexión correcta de los cables y componentes. Cada sección de la placa está diferenciada por colores específicos que corresponden a las distintas conexiones, como los motores (Motor X, Motor Y, Motor Z, Motor Extrusor, etc.), los ventiladores (FAN), y las entradas de control. Además, junto a cada conector se encuentran etiquetas, que ayudan a identificar rápidamente su función y a garantizar una conexión correcta.



Aunque el sistema de colores está diseñado para facilitar las conexiones, es recomendable siempre verificar las etiquetas junto a cada conector antes de realizar cualquier conexión.

A continuación, se detalla en cada componente y el proceso de cableado y conexiones.

1 Conectores

Para garantizar conexiones eléctricas fiables y seguras en toda la impresora, se recomienda estandarizar el uso de conectores del tipo Micro-Fit 3.0. Gracias a su diseño robusto y su capacidad para manejar corrientes de hasta 5A [15].

Estos son la opción ideal para las conexiones de los componentes principales, tales como los motores paso a paso, el cartucho calentador del hotend, los ventiladores (de capa y de hotend), los finales de carrera (endstops) y la sonda de nivelación.

Para componentes de baja señal como los termistores, se pueden utilizar conectores Micro-Fit 3.0 de 2 pines o, alternativamente, conectores JST-XH más pequeños.

Para aislar conexiones eléctricas y mejorar la protección, también utilizaremos tubos termoencogibles (heatshrink tubing), que son muy útiles como aislante eléctrico y para reforzar uniones como se muestra a continuación.



Figura 187.Terminales firmemente crimpadas y uniones completamente aisladas. Fuente: HellermannTyton [16].

Para el cableado de la impresora, se recomienda el uso de cables de silicona, ya que cuentan con una alta cantidad de filamentos internos. Esta construcción de múltiples hebras les otorga mayor flexibilidad y vida útil, siendo ideales para entornos con "vibraciones y movimientos frecuentes", como los de una impresora 3D [17].

Se recomienda adquirir soportes para cables para organizar el cableado en el compartimiento electrónico. También, si deseas, puedes imprimir cubiertas para los rieles que mejoren la estética y organización. A continuación se presenta la tabla con el listado de cables y dimensiones.

Señal / Función	Longitud (24 AWG)	Longitud (20 AWG)	Longitud (18 AWG)	Tipo de señal
Calentador del hotend	–	2 m	–	Potencia
Termistores	2m	–	–	Sensor
Motores	8 m	–	–	Potencia
Sonda inductiva	2 m	–	–	Sensor / Señal
Ventilador del hotend	2 m	–	–	Potencia
Ventilador de capa	2 m	–	–	Potencia
Final de carrera X	2 m	–	–	Señal (fin de carrera)
Final de carrera Y	2 m	–	–	Señal (fin de carrera)
Cama calefactora	–	–	1 m	Potencia
Alimentación	–	2m (negro), 2 m (blanco), 2 m (verde)	2 m	Potencia

Tabla 12. Especificaciones de cableado: calibre (AWG) y longitudes requeridas. Adaptado de [11].

2

Fuente de alimentación



Figura 188. Fuente de alimentación. Fuente MEAN WELL [18]

Utilizaremos una fuente conmutada con salida de 24V y 20A, con terminales de conexión atornillables. Esta fuente será la principal encargada de alimentar los componentes de alto consumo: cama caliente, hotend, drivers, ventiladores y electrónica.

Conexiones de entrada AC

Ubica los terminales de entrada de la fuente, generalmente etiquetados como:
L (Línea), N (Neutro), y \pm o FG (Tierra).

Conecta los cables de la red eléctrica:

L: Cable marrón o negro (fase).

N: Cable blanco(neutro).

\pm : Cable verde/amarillo (tierra física al chasis).

El cableado de corriente alterna (AC) debe tener el calibre adecuado. Se recomienda usar al menos: 18 AWG (0.75 mm²).

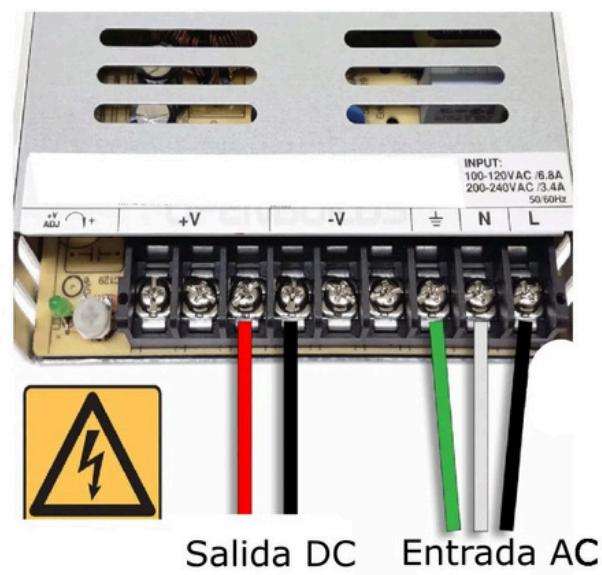


Figura 189. Detalle de los terminales de la fuente de alimentación.
Adaptado de [18].

La salida suele estar etiquetada como:

V+ (24 V positivo).

V- (0V o negativo).

Conexión sugerida:

V+ 18 AWG A distribución principal de 24V (MCU, cama, hotend, etc.).

V- 18 AWG A común negativo de todos los dispositivos DC.



Hay un jumper en la parte central de nuestra electrónica SKR v1.4 (también se encuentra en la versión v1.4 Turbo) que nos indica la forma de alimentación de la placa. Antes de conectar toda la parte electrónica debemos seleccionar la alimentación que se va a suministrar a la placa correctamente (5V USB o 12/24V VDD) [19].

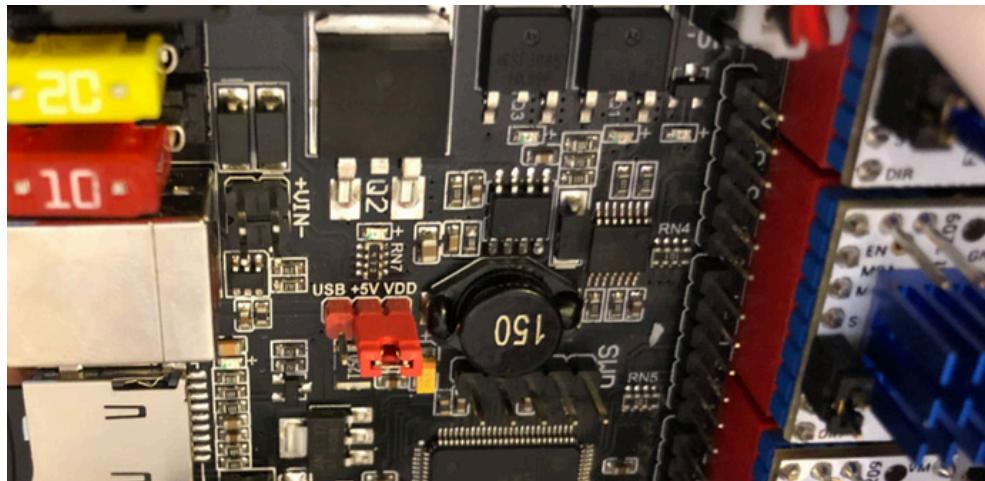


Figura 190. Fotografía de la placa controladora BIGTREETECH SKR 1.4.

Si vas a alimentar la placa desde un cable USB deberás elegir la opción USB, y si utilizas fuente de alimentación la opción VDD [19].

En este caso, la electrónica está conectada a una fuente de alimentación de 24V, por lo tanto, se selecciona la opción VDD, tal como se muestra en la imagen superior. Es importante destacar que las placas SKR son compatibles tanto con 12V como con 24V [20]; sin embargo, en este manual todos los componentes están configurados para operar a 24V.

Es fundamental tener en cuenta que la correcta selección de la alimentación no solo asegura el funcionamiento adecuado de la placa, sino que también protege los componentes de posibles daños por voltajes incorrectos. Al seleccionar la opción VDD, asegúrate de que la fuente de alimentación esté bien conectada y sea capaz de suministrar de manera estable el voltaje requerido por todos los componentes del sistema [20].

En el caso de utilizar la opción USB para alimentar la placa, esta debería ser suficiente solo para pruebas o configuraciones iniciales, ya que no proporciona la capacidad necesaria para alimentar el sistema completo durante la impresión. Por lo tanto, siempre que se utilicen componentes adicionales como los motores, los calentadores y los ventiladores, es indispensable contar con una fuente de alimentación de 24V para garantizar un rendimiento estable y seguro.

3

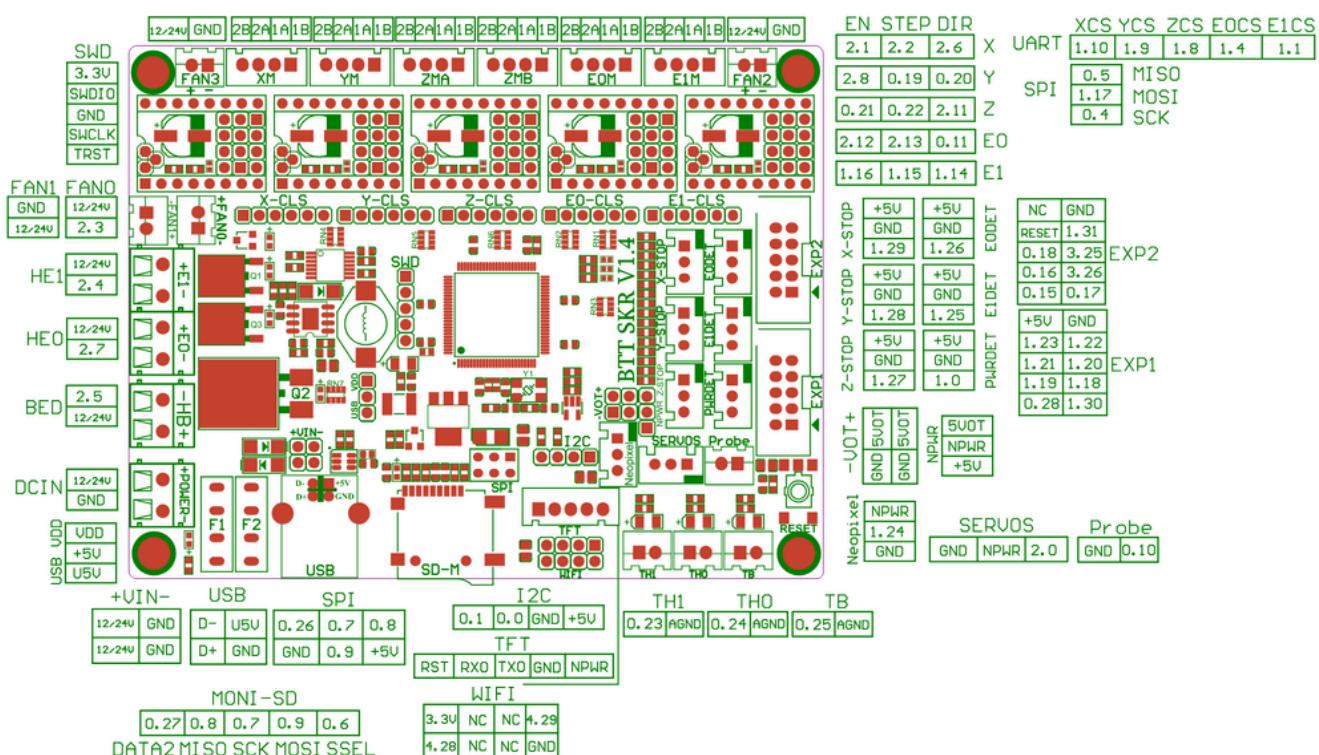
Tarjeta controladora SKR 1.4

La tarjeta controladora original especificada para la impresora Voron Legacy es la BigTreeTech SKR 1.3, y es la que se referencia en la documentación oficial del proyecto.

Sin embargo, en este manual utilizaremos la SKR 1.4, debido a sus ventajas en capacidad de procesamiento [20]. Esta actualización y aporta una base más robusta para futuras expansiones y mejoras.

Recomendamos tener siempre a mano el diagrama de pines oficial de BigTreeTech para la SKR 1.4, ya que será fundamental durante el cableado y configuración de la impresora [20].

El diagrama se muestra a continuación:



Motores (X, Y, Z, Extrusor)

Los conectores para los motores están ubicados en la parte superior central de la placa. Estos conectores están claramente etiquetados como Motor X, Motor Y, Motor Z y Motor Extrusor.

Cada uno de estos puertos permite la conexión de los motores paso a paso que controlan el movimiento de la impresora. El Motor X controla el movimiento horizontal del eje X, el Motor Y maneja el movimiento horizontal del eje Y, el Motor Z es responsable del movimiento vertical, y el Motor Extrusor controla la extrusión del filamento. Estos motores permiten que la impresora se desplace y forme las capas de la impresión de manera precisa [21].

Socket para controladores de los motores

Cerca de los conectores de los motores, se encuentran los sockets para los controladores de los motores. Estos son esenciales para conectar los controladores de los motores paso a paso, como el TMC2209, que gestionan el movimiento de los motores. Los controladores de motor proporcionan un control más preciso y silencioso de los motores, lo que mejora la calidad y la estabilidad de la impresión [20].

Ventiladores

Los conectores de los ventiladores se encuentran en la parte superior izquierda de la placa, cerca de los puertos para los motores. Los ventiladores son componentes críticos en la impresora 3D, ya que aseguran que los componentes, como el extrusor y la placa base, se mantengan a una temperatura adecuada durante el proceso de impresión. Los ventiladores evitan el sobrecalentamiento y ayudan a mantener una temperatura estable para un rendimiento óptimo.

Finales de carrera

Los finales de carrera están ubicados en la parte inferior derecha de la placa. Estos son interruptores que se utilizan para detectar cuando los ejes de la impresora alcanzan sus límites de movimiento. Los finales de carrera son fundamentales para garantizar la seguridad y la precisión de la impresora, ya que evitan que los motores sigan moviéndose más allá de su rango y dañen los componentes. Estos interruptores ayudan a proteger tanto la impresora como los usuarios durante el funcionamiento [21].

Termistores

En la parte inferior central de la placa, cerca de la conexión para la fuente de alimentación, se encuentran los conectores para los termistores. Los termistores son sensores de temperatura que se utilizan para medir la temperatura del extrusor y de la cama calefactora. Estos sensores son esenciales para controlar la temperatura de manera precisa, lo que permite mantener condiciones óptimas durante el proceso de impresión y evitar el sobrecalentamiento [22].

Conección serial con la tarjeta Raspberry Pi

En la parte inferior izquierda de la placa, cerca de los puertos USB y SD, se encuentra la conexión serial con la tarjeta Raspberry Pi. Esta conexión permite la comunicación entre la placa controladora y la Raspberry Pi. La conexión serial asegura una transmisión de datos rápida y estable entre ambos dispositivos [20].

Fuente de alimentación

La fuente de alimentación está ubicada en la parte inferior izquierda de la placa, junto a los conectores de los ventiladores y el extrusor [20]. Esta fuente de alimentación proporciona la energía necesaria para todos los componentes de la impresora, como los motores, los ventiladores, los termistores y la cama calefactora. Es fundamental asegurarse de que la fuente de alimentación esté conectada correctamente y que esté proporcionando la energía adecuada para el funcionamiento de la impresora.

A continuación, se presenta la imagen que ilustra la ubicación de los componentes principales en la placa controladora SKR 1.4. En esta imagen, podrás identificar claramente los conectores y los elementos clave, tales como los motores, ventiladores, termistores, finales de carrera, y la fuente de alimentación. Cada sección está detalladamente etiquetada para ayudarte a ubicar los componentes de manera eficiente y facilitar la conexión de los cables durante el ensamblaje de tu impresora 3D.

Esta representación visual te permitirá tener una guía clara para conectar correctamente todos los componentes y entender cómo interactúan entre sí para asegurar un funcionamiento óptimo de la impresora.

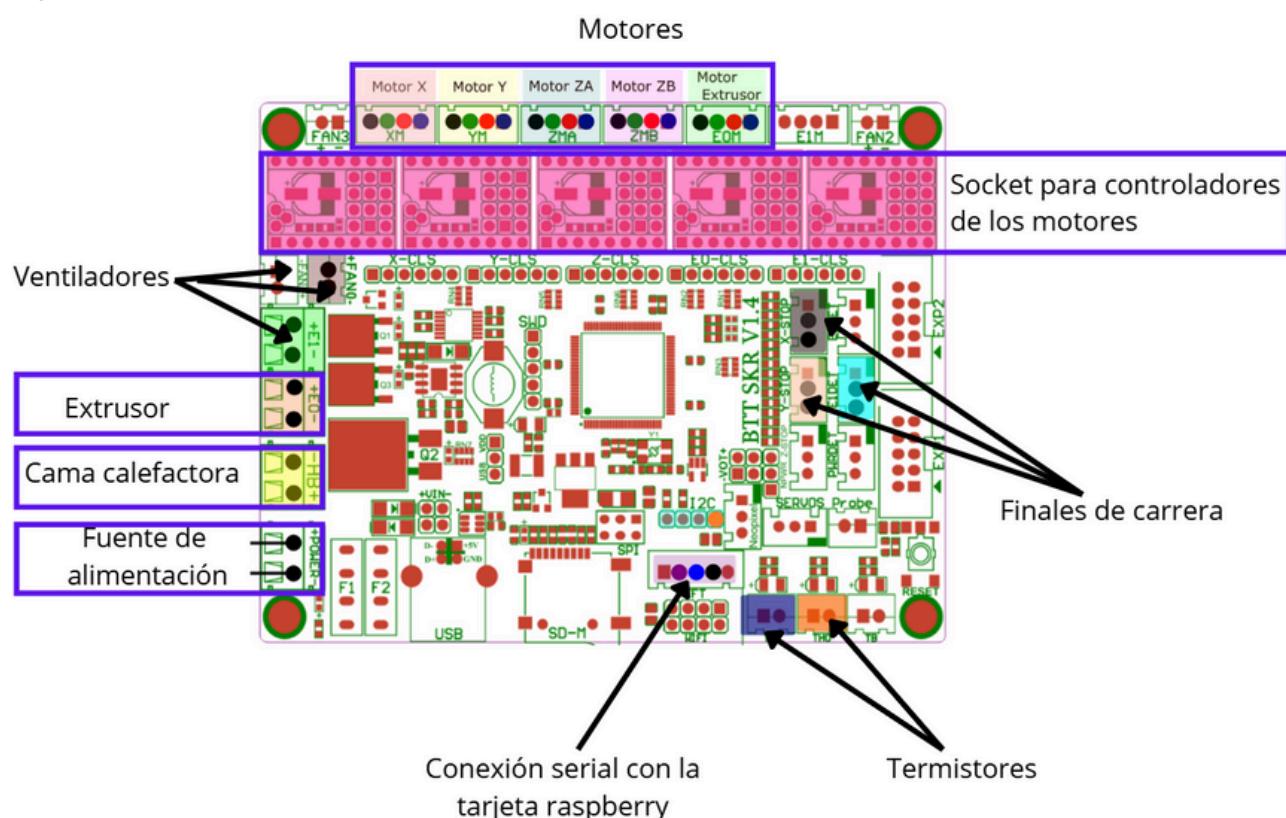


Figura 192. Esquema de los puertos principales de conexión. Adaptado de [20]

4

Raspberry pi zero 2W

En este proyecto utilizaremos una Raspberry Pi Zero 2 W como el cerebro principal del sistema de control de nuestra impresora 3D Voron Legacy.

La Raspberry Pi tendrá la tarea de ejecutar Klipper, un firmware avanzado que permite separar la lógica de control del hardware de bajo nivel, logrando así un control más rápido, eficiente y preciso de los movimientos de la impresora.

La elección de la Raspberry Pi Zero 2 W responde a varias ventajas importantes que la hacen ideal para este proyecto: incorpora un procesador de cuatro núcleos (Quad-Core Cortex-A53 a 1 GHz) que proporciona la capacidad de procesamiento necesaria para ejecutar Klipper. Conectividad inalámbrica integrada, mediante Wi-Fi de doble banda, permite controlar la impresora de forma remota a través de interfaces como Fluido o Mainsail, eliminando la necesidad de cableado adicional de red y mejorando la flexibilidad del sistema [23].

En la imagen a continuación se muestra el diagrama de pines (pinout) de la Raspberry Pi Zero 2 W. Este pinout es esencial para comprender cómo conectar correctamente los pines GPIO de la Raspberry Pi con otros componentes electrónicos, incluyendo la placa controladora SKR 1.4.

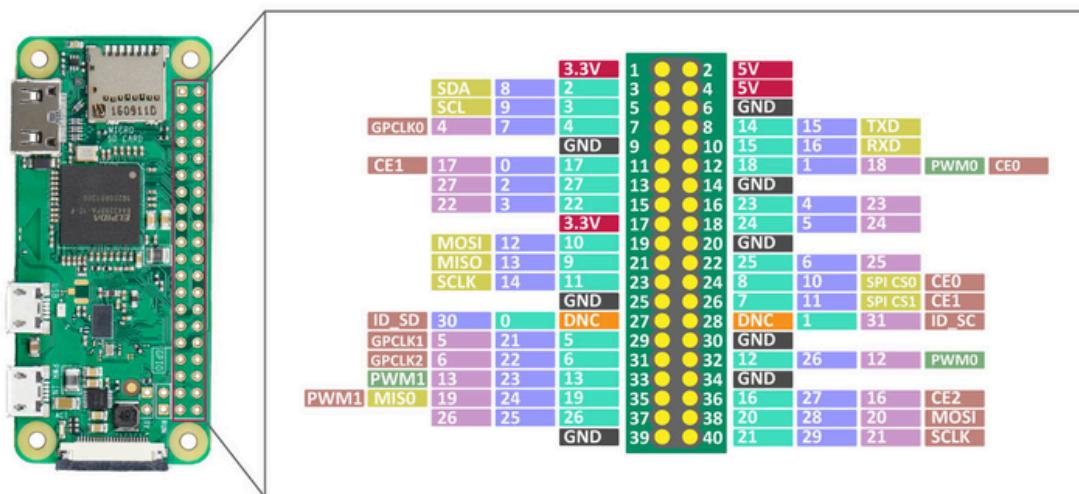


Figura 193. Esquema de pines de la Raspberry Pi Zero 2W]. Tomado de [24].



Puedes consultar un diagrama de pines o descargarlo desde el siguiente enlace:

[Raspberry Pi GPIO Pinout](#)

Conexión entre la placa SKR 1.4 y la Raspberry Pi Pico Zero 2W

Para el control de la impresora 3D, se utiliza una configuración basada en el firmware Klipper, el cual será instalado y ejecutado en la Raspberry Pi Pico Zero 2W. Este microcontrolador se comunica con la placa SKR 1.4 a través de una conexión serial, permitiendo separar el procesamiento del movimiento (ejecutado en la SKR) del control general del sistema (gestionado por la Raspberry Pi) [25].

A continuación, se muestra cómo se realiza esta conexión serial entre ambos dispositivos, utilizando los pines TX (transmisión) y RX (recepción) correspondientes.

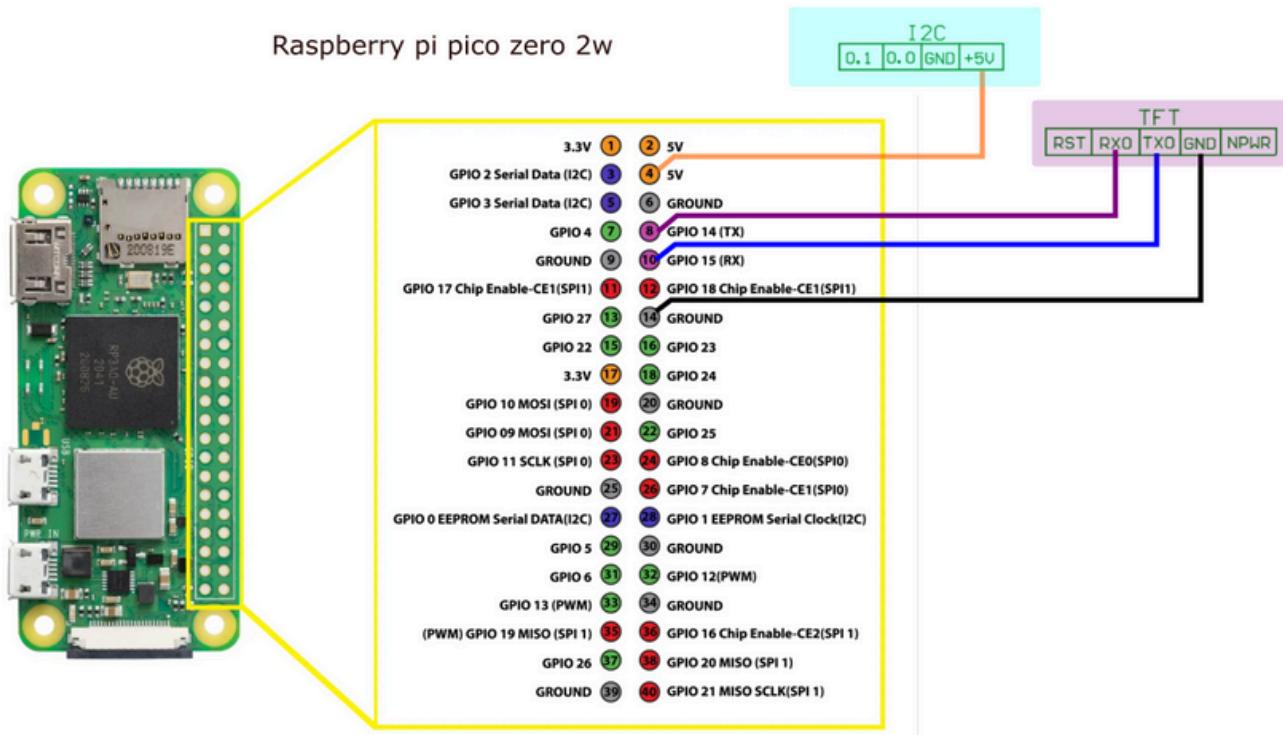


Figura 194. Conexión serial de la raspberry pi zero 2W con la placa SKR 1.4.

La conexión debe realizarse de forma cruzada para que la comunicación sea exitosa:

TX de la SKR1.4 se conecta con RX de la Raspberry Pi Pico.

RX de la SKR1.4 se conecta con TX de la Raspberry Pi Pico.

Ambos dispositivos deben compartir un GND común [25]. Esta conexión permite que la Raspberry Pi Pico actúe como el servidor principal, ejecutando el firmware Klipper, mientras que la SKR 1.4 actúa como MCU (microcontrolador) de bajo nivel, encargado de ejecutar las instrucciones de movimiento con alta precisión.

La comunicación serial en Klipper permite distribuir las tareas entre la Raspberry Pi Pico Zero 2W y la placa SKR 1.4, mejorando el rendimiento general de la impresora 3D. Esta arquitectura ofrece mayor velocidad de impresión, precisión en los movimientos y capacidad de monitoreo remoto.

En las próximas secciones del manual se explicará cómo instalar y configurar Klipper.

Controladores TMC2209

Utilizaremos controladores TMC2209, componentes clave en el rendimiento general de nuestra impresora 3D Voron Legacy. Estos drivers son los encargados de controlar el movimiento de los motores paso a paso, y juegan un papel fundamental en la precisión, el ruido y la eficiencia del sistema [26].

La SKR 1.4 soporta controladores TMC2209 con UART. Para ello, debemos asegurarnos insertar correctamente los TMC2209 en sus respectivos sockets X, Y, Z, E0, E1, (ver figura 192), [26].

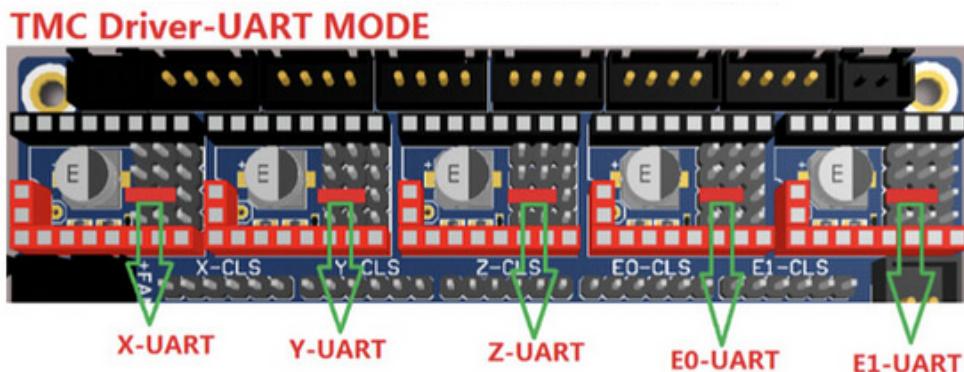


Figura 195. Ubicación del jumper para habilitar la conexión UART. Tomado de [20]

Debemos colocar el jumper en la posición indicada a continuación para habilitar la conexión UART entre la placa SKR 1.4 y los controladores TMC2209. Esta configuración permite la comunicación directa entre la placa y los controladores, facilitando la configuración y el ajuste de parámetros como el control de velocidad, corriente. Asegúrese de verificar que el jumper esté correctamente colocado antes de encender la impresora para evitar problemas de comunicación, ver las figuras 195 y 196.

Posición de los jumpers

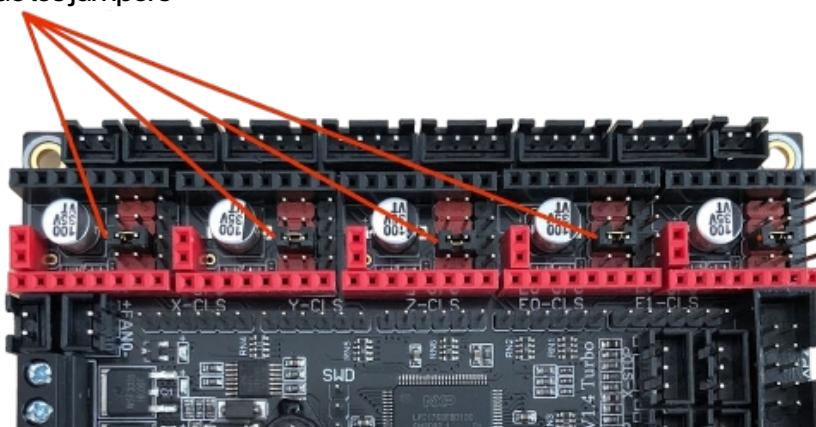


Figura 196. Vista de la placa para la ubicación de los jumpers.

El pin DIAG en los controladores TMC2209 está diseñado para proporcionar una señal de diagnóstico, como la detección de fallos o la activación del StallGuard, que permite el homing sin sensores físicos (sensorless homing). Cuando se utiliza este pin para funciones como el sensor de agotamiento de filamento o la detección de fallos, puede interferir con el funcionamiento de los interruptores físicos de fin de carrera. Esto se debe a que el pin DIAG actúa como un interruptor de fin de carrera de tipo NO (normalmente abierto), y su activación puede generar señales que interfieren con los interruptores físicos conectados a los mismos pines [26].

Para evitar conflictos y asegurar el funcionamiento adecuado de los interruptores físicos de fin de carrera, se recomienda recortar o doblar el pin DIAG en cada controlador TMC2209 como se señala en la figura 197. Posteriormente configuraremos correctamente el firmware para deshabilitar el uso del DIAG para funciones como el sensor de agotamiento de filamento o la detección de fallos [26].

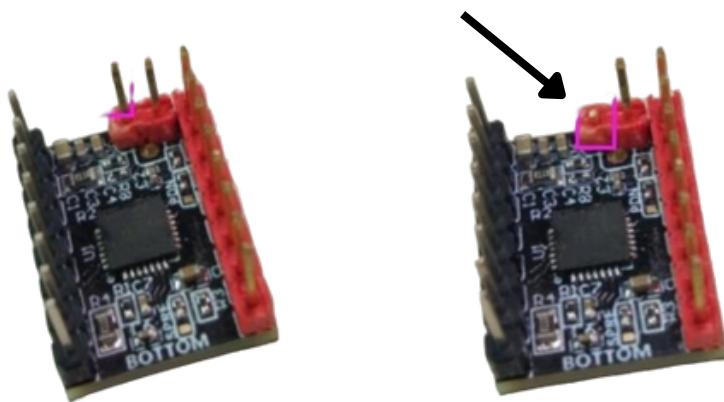


Figura 197. Recorte del pin DIAG en el controlador TMC2209. Adaptado de [26]

Es importante destacar que la manipulación del pin DIAG no solo garantiza la correcta operación de los interruptores de fin de carrera, sino que también optimiza el rendimiento general del sistema. Al deshabilitar el uso de este pin para funciones adicionales, como el sensor de agotamiento de filamento o la detección de fallos, se evita que el sistema se vea afectado por señales indeseadas que podrían alterar la precisión del homing o las paradas de emergencia [26].

Recortar o doblar el pin DIAG es una medida preventiva sencilla pero efectiva para asegurar que los interruptores físicos, como los de fin de carrera, mantengan su funcionalidad original sin interferencias, permitiendo una operación más estable y confiable del sistema. Además, configurar correctamente el firmware es esencial para que el controlador TMC2209 funcione de manera óptima y compatible con el resto de la electrónica de la impresora.

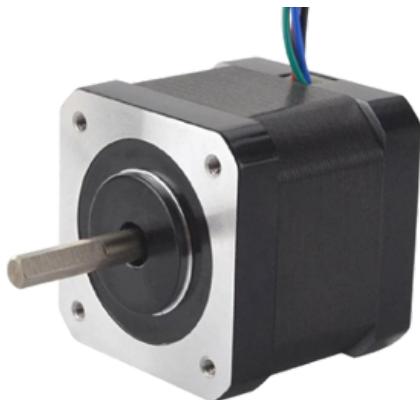


Figura 198. Motor NEMA17 modelo 17HS15-1504S1. Tomado de [27].

Para este proyecto se emplean cinco motores paso a paso modelo NEMA 17 17HS15-1504S1, que serán responsables de los movimientos en los ejes X, Y, Z (ZA y ZB) y del extrusor. Estos motores son fundamentales para lograr desplazamientos precisos y controlados, lo que garantiza la calidad final de las impresiones.

Identificación de las bobinas del motor

Cada motor NEMA 17 contiene dos bobinas independientes, y cada una está formada por un par de cables. Es crucial identificar correctamente las parejas correspondientes a cada bobina antes de realizar la conexión. Un error en este paso puede provocar que el motor no funcione correctamente o gire de forma errática [28].

La manera más sencilla de identificar las bobinas consiste en utilizar un multímetro en modo de continuidad. Al medir entre dos cables, si el multímetro marca continuidad (baja resistencia), significa que ambos cables pertenecen a la misma bobina. Así, se obtendrán dos pares: uno para la bobina A y otro para la bobina B.

Orden de conexión en la placa

Al conectar los motores a la placa SKR 1.4, es fundamental mantener el orden correcto de los cables de las bobinas. El conector de la placa está dispuesto generalmente en el siguiente orden (de izquierda a derecha) [28].

A+, A-, B+, B-

Esto quiere decir que los dos primeros pines corresponden a una bobina (por ejemplo, la que mide continuidad entre cables negro y verde) y los otros dos pines a la otra bobina (rojo y azul, por ejemplo).

En el diagrama de la figura 199 vemos la conexión de los cinco motores paso a paso NEMA 17. Cada motor está representado con su correspondiente esquema de bobinas y su conexión al conector de la placa SKR 1.4, utilizando un código de colores para facilitar la instalación.

Cada motor tiene dos bobinas, y sus cables están conectados siguiendo el orden estándar:

A+ (negro), A- (verde), B+ (rojo), B- (azul).

Este patrón se mantiene para todos los motores, asegurando que las bobinas estén conectadas correctamente al driver correspondiente. Una conexión incorrecta puede hacer que el motor vibre sin girar, se mueva en falso o incluso se caliente innecesariamente.

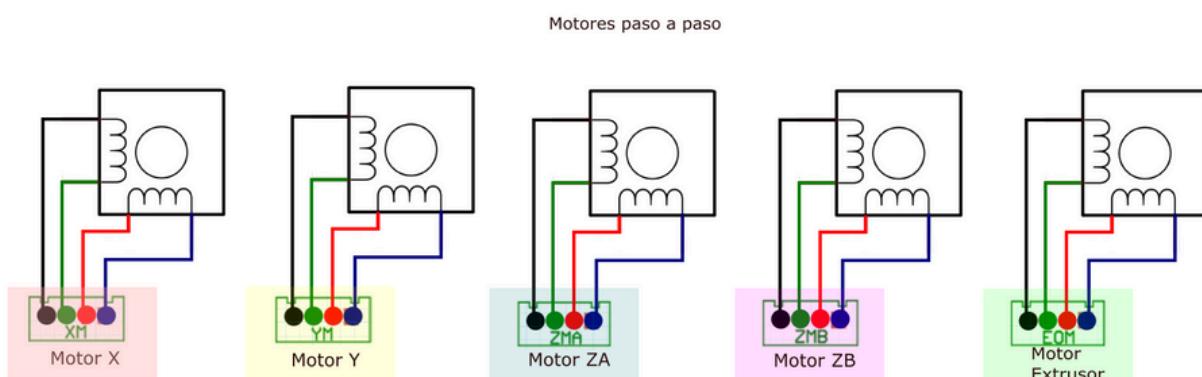


Figura 199. Motores representados en esquema de bobinas y su conexión al conector de la placa SKR 1.4.

Los conectores identificados en la parte inferior de la imagen corresponden a los siguientes puertos de la placa:

XM → Motor del eje X

YM → Motor del eje Y

ZA y ZB → Motores del eje Z (configuración de doble motor)

EOM → Motor del extrusor

El orden de los cables debe mantenerse igual para cada motor, respetando la correspondencia entre bobinas y pines. Si después de la conexión algún motor gira en sentido contrario, se puede invertir una de las bobinas (por ejemplo, cambiar A+ con A-) o ajustar la dirección del motor desde el firmware.

Los interruptores de fin de carrera pueden cablearse de dos maneras: normalmente cerrado (NC) o normalmente abierto (NO). En una configuración normalmente cerrada (NC), el interruptor permite el paso de corriente mientras no está activado (es decir, cuando no ha sido presionado). En cambio, en una configuración normalmente abierta (NO), el interruptor solo permite el paso de corriente cuando se activa [21].

Aunque ambos métodos funcionan correctamente en condiciones ideales, se recomienda utilizar configuraciones normalmente cerradas (NC) por su mayor robustez y seguridad. En una configuración NC, si se produce una rotura de cable o una desconexión accidental, el sistema detectará inmediatamente la pérdida de continuidad y asumirá que el endstop ha sido activado, deteniendo el movimiento de la impresora antes de que el cabezal o el carro puedan chocar contra la cama o la estructura [21].

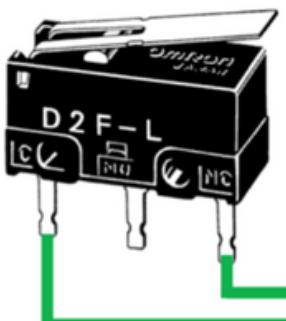


Figura 200. Representación de un interruptor final de carrera. Tomado de [21].

Para garantizar una correcta instalación de los interruptores de fin de carrera en modo, encuentra el par que muestra continuidad (menos de 10 ohmios de resistencia) cuando el interruptor no está presionado (estado normal), y que pierde la continuidad (más de 10 megohmios de resistencia) cuando el interruptor es presionado.

Normalmente, los pinos NC corresponden a los dos pinos exteriores del interruptor, pero es obligatorio verificarlo antes de realizar la instalación para evitar errores de cableado.

Se recomienda utilizar interruptores de tipo SPDT (Single Pole Double Throw), siendo el modelo KW12-B, también conocido como KW10, una opción confiable y económica., soporta una corriente máxima de 5 A y posee dimensiones aproximadas de 19.8 mm × 10.2 mm × 6.4 mm, con una distancia entre pinos de 7.3 mm (C-NO) y 8.8 mm (C-NC) [29].



También pueden emplearse otros interruptores de pala corta que cumplan con las mismas dimensiones mecánicas y se verifique la compatibilidad física, la identificación clara de los pinos C y NC, y que la pala no interfiera con el funcionamiento del mecanismo móvil.

Conexión a la placa:

El final de carrera del eje X se conecta al conector identificado como X-STOP (1.29) en la placa el pin GND (usualmente con cable negro) debe conectarse al pin GND de la placa. Este interruptor tiene como función principal detectar el límite físico del eje X, enviando una señal al firmware para detener su movimiento cuando alcanza su tope [20].

Para el eje Y, el final de carrera se conecta al conector Y-STOP (1.28). La configuración del cableado es idéntica a la del eje X: GND al pin central de la placa. Su función es permitir al firmware determinar cuándo el eje Y ha llegado a su posición de referencia durante el proceso de homing [20].

En el caso del eje Z, se utiliza un final de carrera especial tipo “Klicky”, el cual se conecta al conector E1.DET (1.25). La disposición del cableado también es igual a las anteriores: GND al pin central y señal al 1.25. El sistema Klicky, estará gestionado de forma específica desde el firmware, permitiendo el sistema desacoplable.

El pin +5V no se utiliza en esta configuración; únicamente se conectan los pines GND y SIGNAL. Verifica siempre que las conexiones estén bien sujetas, ya que un mal contacto puede impedir el correcto funcionamiento del homing de la impresora.

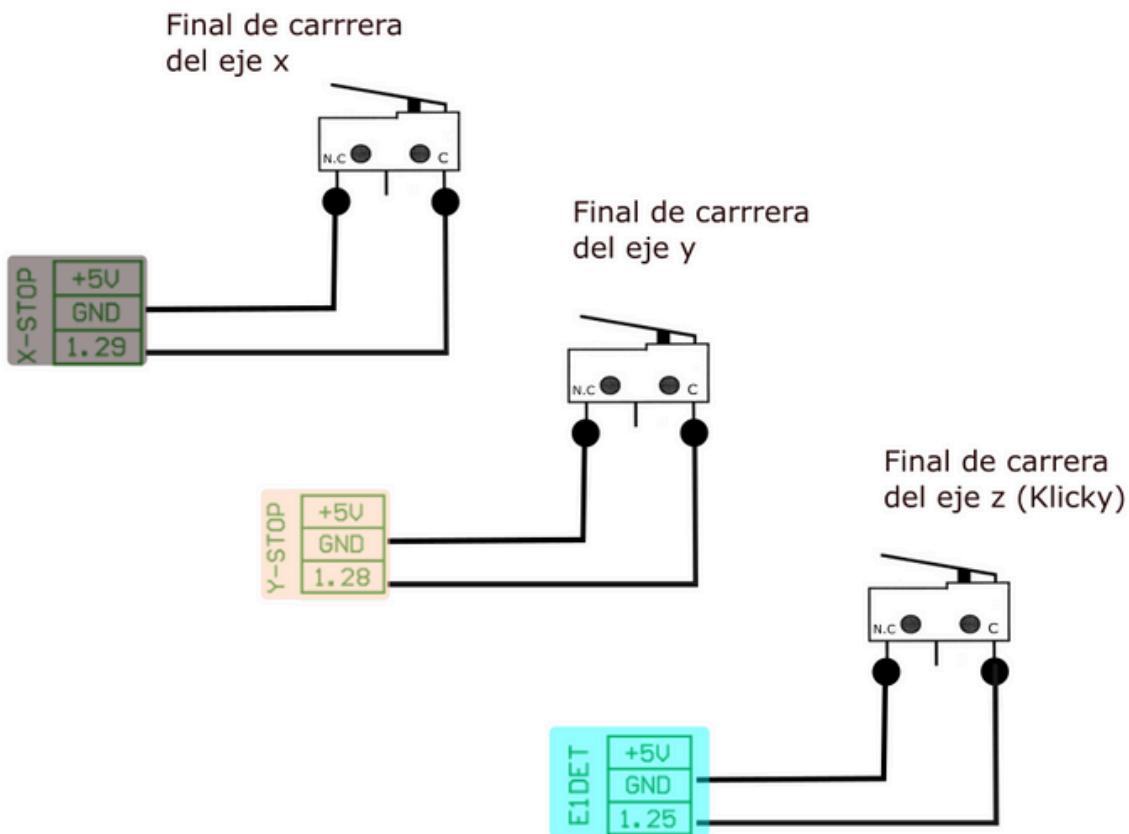


Figura 201. Conexión de los finales de carrera a la tarjeta SKR.

La cama calefactora es uno de los componentes fundamentales en una impresora 3D, especialmente en impresoras que trabajan con materiales propensos a la deformación (warping) como el ABS o el PETG. Su función principal es mantener la superficie de impresión a una temperatura constante y adecuada, lo que mejora significativamente la adhesión de las primeras capas del filamento y reduce el riesgo de que la pieza se despegue o se deforme durante el proceso de impresión. Gracias a esta estabilidad térmica, es posible lograr una mayor calidad en las piezas impresas y reducir la tasa de fallos [30].



Figura 202. Conexión de los finales de carrera a la tarjeta SKR.

En este proyecto se utiliza una cama calefactora de 24 voltios, referencia MK2A, con dimensiones de $328 \times 328 \times 3$ mm, adecuada para el volumen de impresión.



No obstante, es posible utilizar otras camas calefactoras de 24V siempre que mantengan dimensiones similares (328×328 mm) y que el consumo de corriente no exceda la capacidad de los componentes electrónicos ni de la fuente de alimentación. Se recomienda verificar que la cama alternativa tenga terminales adecuados para conexión segura, un buen sistema de disipación térmica, y que se pueda instalar físicamente en la estructura prevista sin modificaciones mayores.

Este componente se conecta directamente al terminal identificado como BED en la placa principal (SKR 1.4), como se muestra en la figura 202 a continuación.

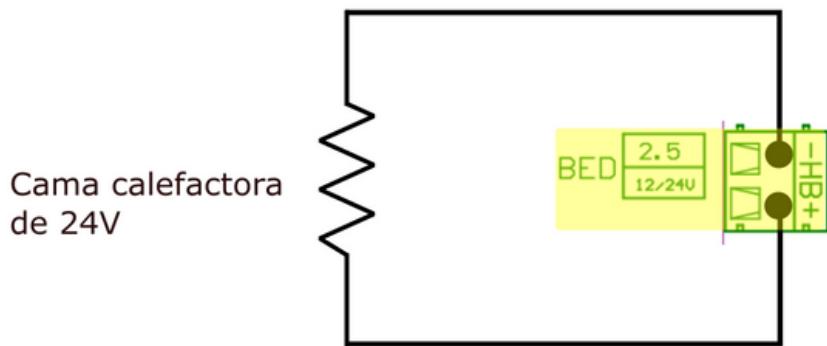


Figura 203. Conexión de los finales de carrera a la tarjeta SKR.

Internamente, la cama calefactora funciona como una resistencia eléctrica: al recibir corriente, disipa calor de forma uniforme sobre su superficie metálica o de aluminio, calentando la base de impresión.

La conexión eléctrica se realiza a través de un bloque de terminales etiquetado como BED en la placa principal (tarjeta SKR 1.4), el cual posee dos pines: HB+ (positivo) y HB-(negativo). Aunque internamente la cama se comporta como una resistencia sin polaridad, es fundamental respetar la polaridad indicada por la placa controladora, ya que el circuito de conmutación está gestionado por un MOSFET, el cual sí es sensible a la dirección de corriente [20].

Para realizar la conexión correctamente, conecta el cable positivo (rojo o marcado con +) al terminal HB+, y el cable negativo (negro o marcado con -) al terminal HB-. Asegúrate de apretar firmemente los tornillos del conector para evitar falsos contactos, los cuales podrían generar calor excesivo en la conexión.

Además de la conexión a la placa, es importante tener en cuenta la forma correcta de alimentación de la cama calefactora. El modelo MK2A incluye tres pines identificados como 1, 2 y 3. Según la serigrafía impresa en la superficie, para operación a 24V solo deben utilizarse los pines 2 (positivo) y 3 (negativo), dejando el pin 1 sin conexión. Conectar incorrectamente estos pines puede impedir el funcionamiento o sobrecalentar la cama. Se recomienda verificar visualmente los terminales y la polaridad antes de energizar el sistema.



Figura 204. Vista de los pines de la cama calefactora.

Es imprescindible utilizar cables de calibre adecuado, preferiblemente 14 AWG o 16 AWG, con recubrimiento resistente al calor y buena flexibilidad. El cableado debe mantenerse lo más corto posible y lejos de componentes electrónicos sensibles, para minimizar caídas de voltaje e interferencias electromagnéticas.

Termistor para la cama calefactora

Para garantizar un funcionamiento seguro y preciso del sistema térmico, la cama calefactora debe incorporar un termistor NTC (Negative Temperature Coefficient) instalado firmemente en su parte inferior. Este componente actúa como un sensor de temperatura que varía su resistencia eléctrica en función de la temperatura: a mayor temperatura, menor resistencia. Gracias a esta propiedad, el microcontrolador de la impresora puede interpretar con precisión la temperatura real de la cama en tiempo real [22].



Figura 205. Termistor NTC 3950 100K. Tomado de [30].

El termistor se conecta a una de las entradas de temperatura de la placa controladora, en este caso se ha decidido conectar a la entrada TH1 [20].

Termistor para la cama calefactora

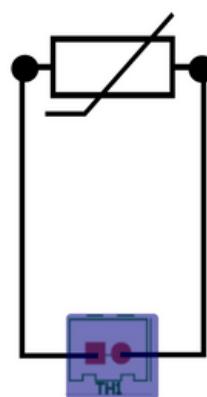


Figura 206. Conexión del termistor NTC 3950 100K con la placa controladora.



El monitoreo térmico constante mediante el termistor es crucial para prevenir sobrecalentamientos, posibles incendios o daños a la cama, la fuente de alimentación o los controladores. Si el sensor se desconecta, se rompe o reporta valores erróneos, el firmware puede generar un error crítico (como “THERMAL RUNAWAY”) y detener el funcionamiento inmediatamente como medida de seguridad. Por ello, es fundamental que el termistor esté bien sujeto a la cama con cinta Kapton, silicona térmica o fijación mecánica, y que sus cables estén correctamente aislados y protegidos contra tirones o movimientos.

8

Hotend

El hotend es, una de las partes más críticas de la impresora 3D, constituyendo el núcleo del proceso de fabricación por deposición fundida (FFF). Su función primordial radica en la capacidad de fundir el filamento termoplástico con una gran precisión térmica , para luego permitir su deposición controlada, capa por capa, formando el objeto final. Como lo destacan investigaciones, un elemento fundamental para la calidad de la impresión es precisamente esta habilidad del hotend para fundir el material de manera uniforme y eficiente, asegurando una deposición homogénea [32].

Para que este proceso se lleve a cabo de forma óptima y sin interrupciones, el hotend debe integrar y coordinar dos componentes esenciales: un calefactor cerámico (o resistencia calefactora) y un termistor NTC. Esta interacción precisa entre el calefactor y el termistor es indispensable para el control y monitoreo continuo de la temperatura de fusión del filamento [32].

Para este proyecto, se recomienda utilizar un hotend E3D V6 de 24V, ya sea en forma de kit completo o adquiriendo sus componentes por separado. Este modelo es ampliamente reconocido por su estabilidad térmica, disponibilidad de repuestos y compatibilidad con múltiples extrusores [10].



Figura 207. Kit hotend E3D V6.

El calefactor cerámico funciona como una resistencia eléctrica que convierte energía en calor [32]. Aunque el calefactor cerámico en sí no tiene polaridad (puede conectarse en cualquier dirección), es buena práctica seguir la polaridad marcada en la placa, especialmente para facilitar el diagnóstico y el orden del cableado. El cable positivo (rojo) se conecta al terminal +E0, y el cable negativo (negro) al -E0 [20].

Asegúrate de que los tornillos del terminal estén bien apretados y que el cable tenga el calibre adecuado (18 AWG como mínimo), ya que este canal puede alcanzar corrientes significativas durante la fase de calentamiento.

Este componente debe conectarse al terminal HE0 (Hotend 0) en la placa SKR 1.4, tal como se muestra en la figura 207. El conector HE0 está etiquetado con +E0 / -E0, y corresponde a un canal controlado por un MOSFET que regula el encendido y apagado del calefactor según las lecturas del termistor [20].

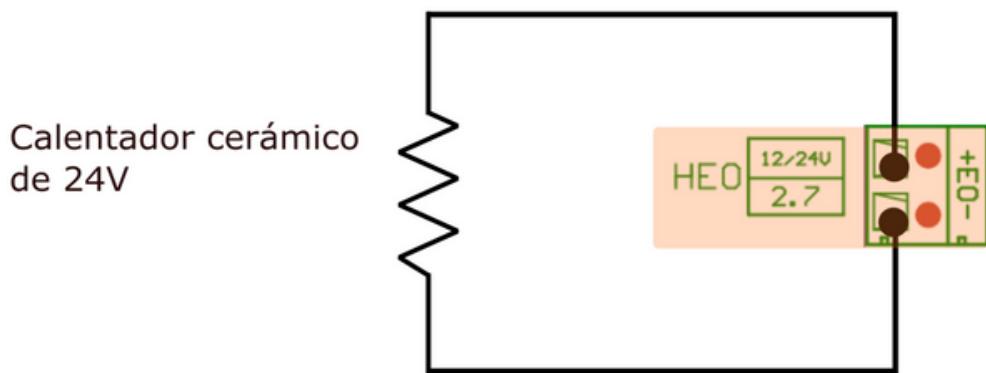


Figura 208. Conexión del calentador cerámico con la placa controladora.

Para el hotend, se recomienda utilizar un termistor NTC 100k ohmios B3950 encapsulado en 3 mm, específicamente diseñado para soportar las altas temperaturas generadas por el calefactor del hotend durante la impresión 3D [33].



Figura 209. Termistor NTC 10KΩ 3950. Tomado de [33].

Conexión del termistor del hotend

El termistor se conecta a la entrada TH0 (Thermistor Hotend 0) de la SKR 1.4, como se ilustra en la figura 209. Este sensor de temperatura se encarga de reportar al firmware la temperatura en tiempo real del bloque calefactor del hotend, lo que permite regular de forma segura el encendido del calefactor y evitar sobrecalentamientos [20].

Los termistores no tienen polaridad, por lo que los cables pueden conectarse indistintamente. No obstante, se recomienda soldar y aislar adecuadamente las conexiones, y proteger el termistor con una funda de vidrio o Kapton para evitar falsos contactos o lecturas inestables.

8 Ventiladores

Termistor para el hotend

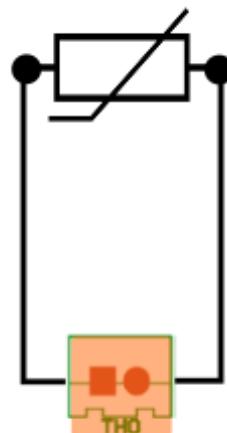


Figura 210. Conexión del termistor con la placa controladora.

Los ventiladores son componentes críticos para mantener las temperaturas de la impresora dentro de límites seguros y para optimizar el proceso de impresión [20]. En este proyecto se utilizan tres tipos de ventiladores: ventilador del hotend, ventilador de capa y ventilador de la tarjeta SKR. A continuación, se detalla la función y conexión de cada uno.

Ventilador del hotend

El ventilador del hotend es fundamental para mantener la temperatura del bloque del hotend controlada y evitar el sobrecalentamiento del extrusor durante el proceso de impresión. Este ventilador asegura que el filamento fundido sea enfriado de manera eficiente en la zona de extrusión, lo que mejora la calidad de la impresión, especialmente cuando se utilizan materiales que requieren un enfriamiento rápido.

Ventilador del hotend

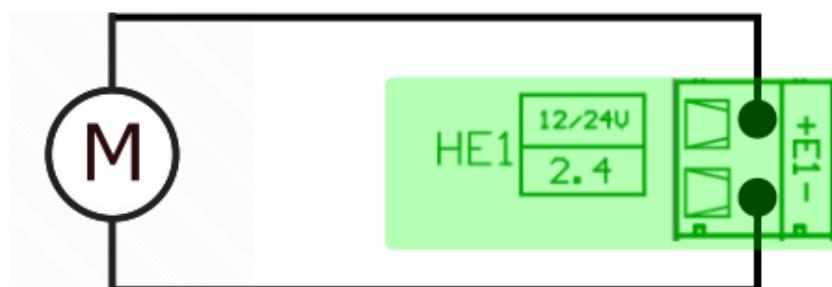


Figura 211. Conexión del ventilador del hotend con la placa controladora.

En la placa SKR 1.4, el ventilador del hotend se conecta al terminal HE1, que se encuentra disponible para la conexión de dispositivos de ventilación. El terminal HE1 está configurado para alimentar el ventilador con 24V [20].

El ventilador está conectado al pin 2.4 de la placa, que está configurado para gestionar la alimentación del ventilador a través de un señal PWM [20]. En este caso, el ventilador puede ser ajustado en su velocidad de operación en función de las necesidades de enfriamiento del hotend, permitiendo que el firmware regule de manera precisa el flujo de aire en la zona de extrusión.

Ventilador de capa

El ventilador de capa es utilizado para enfriar las capas de impresión mientras se van depositando, especialmente en materiales como PLA, que se benefician de un enfriamiento rápido para mejorar la adhesión entre las capas y la precisión de los detalles finos [34].

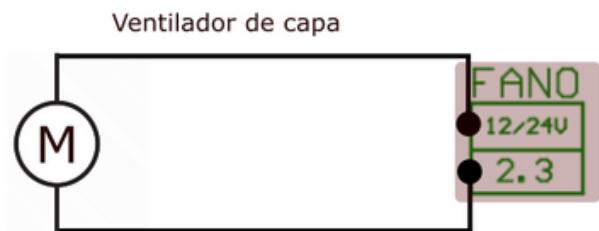


Figura 212. Conexión del ventilador de capa con la placa controladora.

Este ventilador también funciona a 24V y esta conectado al pin 2.3. Se conecta al conector FANO de la placa controladora SKR 1.4. Este ventilador puede ser controlado por la temperatura del hotend o el avance de la impresión [20].

Ventilador de la tarjeta SKR

El ventilador de la tarjeta SKR tiene como objetivo enfriar la placa controladora SKR 1.4 y otros componentes electrónicos críticos de la impresora, como los drivers de los motores paso a paso, evitando sobrecalentamientos que puedan afectar el rendimiento de la impresora [20].

Este ventilador también opera a 24V, y está conectado al conector FAN1 de la placa controladora SKR 1.4 [20].

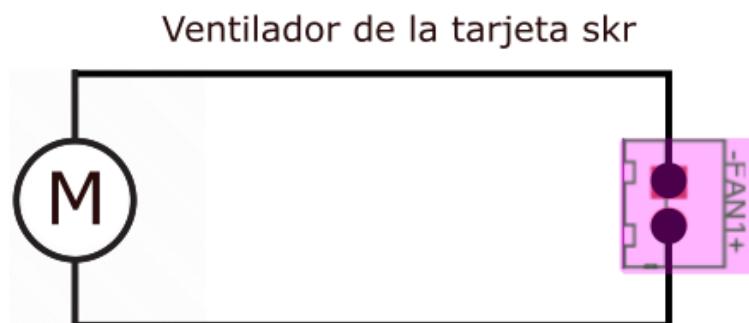
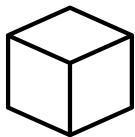


Figura 213. Conexión del ventilador de enfriamiento de la tarjeta.



FIRMWARE

En este proyecto, se utilizará Klipper instalado en una Raspberry Pi Zero 2W.

Klipper es un firmware de código abierto diseñado para controlar impresoras 3D mediante el uso de una Raspberry Pi como procesador central, lo que permite una mayor velocidad y precisión en el procesamiento de los movimientos y cálculos complejos, liberando al microcontrolador de la impresora de tareas pesadas. Esto se traduce en un control más rápido, preciso y con la capacidad de realizar movimientos de impresión más suaves, lo que resulta en mejores resultados en la calidad de las impresiones [35].



Figura 214. Klipper como Firmware para el control de la impresora. Tomado de [35]

¿Qué es Mainsail?

Mainsail es una interfaz web diseñada específicamente para trabajar con Klipper. Esta interfaz gráfica proporciona un acceso fácil y eficiente a las funciones de la impresora, permitiendo a los usuarios controlar y monitorear la impresora 3D desde cualquier dispositivo conectado a la misma red (como una computadora o teléfono móvil). Mainsail muestra en tiempo real datos como la temperatura del hotend y la cama calefactora, el estado de los ventiladores, el avance de la impresión y mucho más, todo accesible desde un navegador web [36].

Mainsail se configura para funcionar de manera sencilla con Klipper, proporcionando una pantalla de control intuitiva donde se pueden gestionar los trabajos de impresión, ajustar la velocidad de los motores, y configurar las temperaturas y otros parámetros críticos [36].

Gracias a su diseño basado en la web, Mainsail hace que la interacción con la impresora sea más fluida, sin necesidad de instalar software adicional en cada dispositivo desde el que se desee acceder [36].

1

Descarga e instalación de Raspberry Pi Imager

Este proceso involucra descargar y configurar un sistema operativo ligero en la tarjeta microSD que se utilizará para ejecutar Klipper. Para ello, necesitaremos utilizar Raspberry Pi Imager, una herramienta oficial de Raspberry Pi que facilita la instalación del sistema operativo adecuado.

Lo primero que debes hacer es visita la página oficial de [Raspberry Pi Software](#) para la descarga y obtener el instalador de Raspberry Pi Imager. Puedes descargar la versión adecuada para tu sistema operativo (Windows, macOS o Linux) [37]. Una vez descargado, sigue el asistente de instalación de la herramienta en tu PC.



Figura 215. Interfaz de Raspberry imager. Tomado de [37].

Inserta la tarjeta microSD en tu computadora y abre Raspberry Pi Imager. Desde allí, selecciona el sistema operativo. En este caso, selecciona Mainsail OS v2.0.0, que es la versión más reciente disponible para su uso con Klipper [37].

Después de seleccionar Mainsail OS en Raspberry Pi Imager, selecciona tu tarjeta microSD como destino para la instalación.



Figura 216. Instalación de MainsailOS. Tomado de [37].

En el menú de configuración, encontrarás varias opciones, entre ellas la configuración de red inalámbrica. Activa la opción "Enable Wireless LAN" (habilitar red inalámbrica). Luego, ingresa el nombre de tu red (SSID) y la contraseña en los campos correspondientes. para comenzar a escribir la imagen del sistema operativo en la tarjeta microSD.

2

Conexión de la Raspberry Pi a través de la red local

Una vez que hayas insertado la tarjeta microSD con Mainsail OS en tu Raspberry Pi Zero 2W y la hayas energizado, el siguiente paso es verificar que la Raspberry Pi esté conectada correctamente a la red Wi-Fi y sea accesible desde tu red local [36].

En tu computadora, abre el Command Prompt (CMD), a continuación, utiliza el comando ping para comprobar la conectividad con la Raspberry Pi. Si no has cambiado el nombre de la Raspberry Pi durante la configuración, puedes utilizar mainsail.local para hacer ping a la Raspberry Pi. Escribe el siguiente comando:

```
ping mainsailos.local -4
```

Este comando envía paquetes de datos a la Raspberry Pi para comprobar si está disponible en la red. Si la Raspberry Pi está correctamente conectada a tu red Wi-Fi y funcionando, recibirás una respuesta similar a esta:

```
Pinging mainsail.local [192.168.x.xxx] with 32 bytes of data:  
Reply from 192.168.x.xxx: bytes=32 time<1ms TTL=64
```

Si durante la configuración del sistema operativo Mainsail OS cambiaste el nombre predeterminado de la Raspberry Pi (mainsail), deberás usar el nuevo nombre en lugar de mainsail.local. Por ejemplo, si el nuevo nombre de la Raspberry Pi es mi_impresora.local, entonces el comando sería:

```
ping mi_impresora.local -4
```

En cualquier dispositivo conectado a la misma red Wi-Fi (tu PC o teléfono), abre el navegador web. En la barra de direcciones del navegador, escribe la dirección IP de la Raspberry Pi seguida del puerto 7125, o utiliza el nombre de la Raspberry Pi en lugar de la IP (si configuraste correctamente el nombre):

<http://mainsail.local:7125>

Una vez que hayas accedido a la interfaz web de Mainsail OS a través de tu navegador, la pantalla principal te mostrará una interfaz gráfica diseñada para proporcionarte todos los controles y monitoreo necesarios para gestionar tu impresora 3D de manera eficiente.

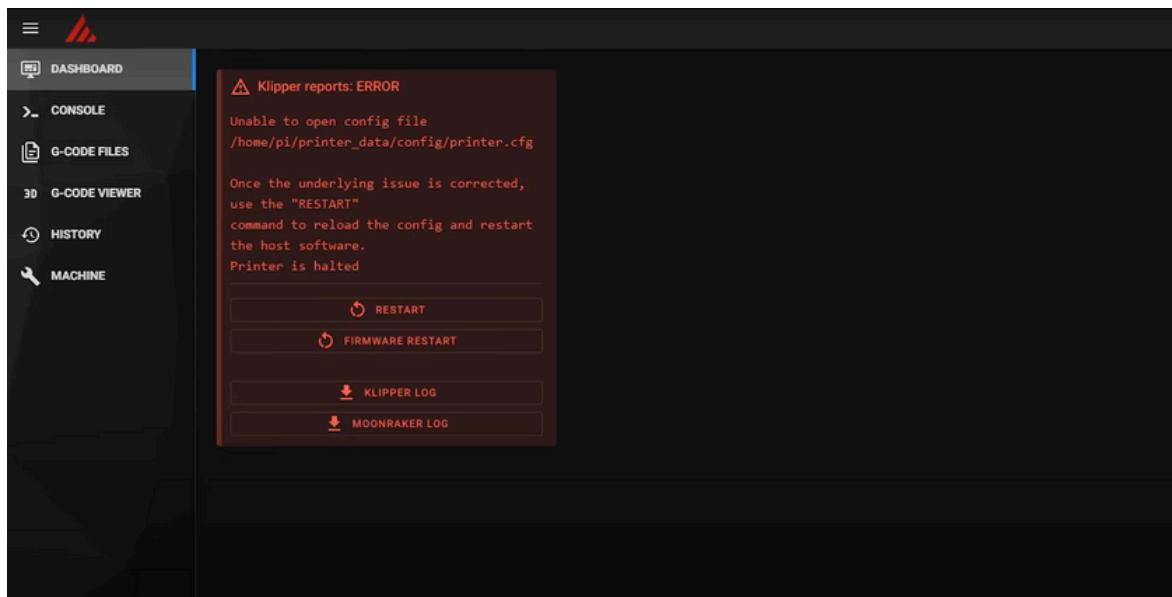


Figura 217. Interfaz de Mainsail OS, recién instalado.

Sin embargo, antes de comenzar a usar la impresora, es fundamental configurar el archivo printer.cfg, lo que se realizará en el siguiente paso.

3

Configuración del Archivo printer.cfg

El archivo printer.cfg es un archivo esencial dentro de Klipper que contiene todos los parámetros y configuraciones necesarias para que la impresora funcione correctamente [35].

Este archivo es el corazón de la personalización de la impresora, ya que define cómo interactúan todos los componentes del hardware con el firmware, incluyendo los motores, los sensores de temperatura, los ventiladores, los controladores de la cama calefactora y el hotend, entre otros [35].

El código completo de configuración para tu impresora 3D se encuentra en el mismo repositorio de GitHub que este manual.

En esta sección, proporcionaremos una explicación resumida de las distintas secciones del archivo printer.cfg, lo que te permitirá entender cómo y por qué cada sección es crucial para el funcionamiento de tu impresora.

Para obtener información detallada sobre cada comando, te recomendamos consultar la documentación oficial de Klipper en la sección de Referencia de Configuración en el siguiente enlace: [Klipper Configuration Reference](#).

Archivos generales

Cargamos archivos de configuración en otros documentos, pues es una forma de mantener el archivo principal más limpio y organizado.

```
[include klicky-probe-for-Legacy.cfg]
```

```
[include mainsail.cfg]
```

Figura 218. Archivos dentro de los ajustes printer.cfg.

Archivo [include klicky-probe-for-Legacy.cfg]

Este archivo contiene toda la lógica de software necesaria para el correcto funcionamiento de la sonda Klicky. En él se definen los pines eléctricos utilizados por la sonda, además de un conjunto de macros esenciales, destacando especialmente ATTACH_PROBE, encargada de recoger la sonda, y DOCK_PROBE, encargada de devolverla a su base. Dada la complejidad y extensión de la lógica de esta sonda, se recomienda mantener su configuración en un archivo separado [38].

Archivo [include mainsail.cfg]:

Este archivo se encarga de personalizar y ampliar las capacidades de Mainsail, la interfaz web desde donde gestionas y controlas tu impresora 3D. Incluye macros asociadas directamente a funciones y botones específicos de la interfaz, como los controles de emergencia, pausado, reanudación y cancelación de impresiones [38].

A continuación, se describen los ajustes más importantes: la configuración de los motores y sus drivers TMC2209, el funcionamiento de la sonda y el homing personalizado, los sistemas de nivelación de cama como Z-Tilt y Bed Mesh, y finalmente, la configuración del extrusor y los calefactores.

Configuración de los motores (Ejes X, Y, Z)

Comando	Descripción
step_pin	Define el pin que envía los pulsos para mover el motor.
dir_pin	Establece la dirección del motor (sentido de movimiento).
enable_pin	Activa o desactiva el motor.
rotation_distance	Define la distancia en milímetros que el eje se mueve por cada rotación completa del motor. Se calcula con la fórmula: (paso de la correa * número de dientes).
microsteps	Aumenta la resolución del movimiento, haciendo el movimiento más suave y preciso. Un valor común es 32.
endstop_pin	Especifica el pin conectado al final de carrera físico. El símbolo ^ indica que se activa una resistencia de pull-up interna.
position_endstop	Coordenada donde se encuentra el final de carrera.
position_max	Longitud máxima de recorrido del eje.
homing_speed	Velocidad con la que el motor busca su posición de origen durante el proceso de homing.
endstop_pin (Z)	Para el eje Z, usa probe:z_virtual_endstop para indicar que la sonda (como la Klicky Probe) actúa como un final de carrera virtual.

Tabla 13. Comandos de ajustes para los motores. Adaptado de [38]

```
[stepper_x]
enable_pin: !P2.1
step_pin: P2.2
dir_pin: !P2.6
rotation_distance: 40
microsteps: 32
full_steps_per_rotation: 200 # set to 400 for 0.9 degree stepper
endstop_pin: ^P1.29
position_min: 0
position_endstop: 332.8
position_max: 332.8
homing_speed: 50.0
homing_positive_dir: true
```

Figura 219. Ajustes de los motores en el archivo printer.cfg.

Cada uno de los parámetros configurados en los motores de la impresora tiene un impacto directo en su rendimiento y precisión. Todos estos ajustes trabajan en conjunto para proporcionar un movimiento controlado y preciso, fundamental para la calidad de impresión [38].

Configuración de controladores TMC2209

```
[tmc2209 stepper_x]
uart_pin: P1.10
interpolate: False
run_current: 0.7
hold_current: 0.5
sense_resistor: 0.110
stealthchop_threshold: 0
```

Figura 220. Ajustes de los motores en el archivo printer.cfg.

Estas secciones configuran las funciones de los drivers Trinamic TMC2209, que permiten un control digital sobre los motores.

uart_pin: El pin que permite la comunicación entre la placa base y el driver para ajustar parámetros por software.

run_current: La corriente (en Amperios) que se envía al motor mientras está en movimiento. Es crucial ajustarla correctamente: muy poca corriente puede causar pasos perdidos, mientras que demasiada puede sobrecalentar el motor y el driver.

`hold_current`: La corriente que se envía al motor cuando está detenido. Generalmente es menor que `run_current` para mantener el motor fijo sin generar calor innecesario.

`stealthchop_threshold`: Controla el modo de operación del driver. Un valor de 0 fuerza el modo SpreadCycle, que es más ruidoso pero ofrece un mayor torque, ideal para evitar pérdidas de pasos en impresiones rápidas.

Sonda de nivelación y homing personalizado

Comando	Descripción
[probe]	Define las propiedades de la sonda Klicky, que se usa para nivelar la cama.
pin	Especifica el pin de señal de la sonda.
x_offset / y_offset	Distancia en milímetros desde la punta del nozzle hasta la punta de la sonda. Crítico para una nivelación precisa de la cama.
z_offset	Distancia vertical entre el punto de activación de la sonda y la punta del nozzle. Se calibra con el procedimiento PROBE_CALIBRATE.
[homing_override]	Reemplaza la secuencia de homing por defecto cuando se usa una sonda desmontable.
G0 Z10 F600	Sube el eje Z 10 mm para evitar colisiones antes de iniciar el homing.
G28 X Y	Realiza el homing de los ejes X e Y de manera estándar.
G0 X166.4 Y155.5 F2500	Mueve el cabezal al centro de la cama, donde se encuentra el soporte de la sonda Klicky.
ATTACH_PROBE	Ejecuta la macro para que el cabezal recoja la sonda.
G28 Z	Realiza el homing del eje Z utilizando la sonda para encontrar el punto cero.
DOCK_PROBE	Ejecuta la macro para devolver la sonda a su soporte.
G0 X166.4 Y155.5 F2500	Mueve el cabezal al centro de la cama nuevamente, listo para la impresión.

Tabla 14. Comandos de ajustes para la sonda de nivelación. Adaptado de [38]

```

[probe]
pin: P1.25
y_offset: 25.0
#z_offset: 0.6
speed: 15

[homing_override]
set_position_z: 0
gcode:
    G90                      # Modo coordenadas absolutas
    G0 Z10 F600                # Subir el eje Z para evitar colisiones
    G28 X Y                   # Homing de los ejes X e Y
    G0 X166.4 Y155.5 F2500    # Mover a una posición segura para acoplar la sonda
    ATTACH_PROBE               # Acoplar la sonda
    G0 X166.4 Y155.5 F2500    # Asegurarse de estar en el centro después de acoplar
    G28 Z                      # Homing del eje Z usando la sonda
    DOCK_PROBE                 # Desacoplar la sonda
    G0 X166.4 Y155.5 F2500    # Mover el hotend al centro de nuevo

```

Figura 221. Ajustes de la sonda de nivelación en el archivo printer.cfg.

El homing personalizado asegura que el eje Z se ajuste correctamente al punto de referencia ($Z=0$) utilizando la sonda para evitar errores de altura en la primera capa de impresión. Este proceso incluye un conjunto de pasos cuidadosamente programados que permiten mover el cabezal a la posición inicial, acoplar y desacoplar la sonda, y devolverla a su soporte, asegurando un arranque perfecto y sin colisiones para la impresión [38].

Nivelación y compensación de la cama

[bed_mesh]: Configura el sistema de nivelación automática de la cama. La impresora sondea la cama en múltiples puntos para crear un "mapa" digital de sus imperfecciones. Luego, durante la impresión, ajusta la altura del eje Z en tiempo real para compensar cualquier desnivel, garantizando una primera capa perfecta en toda la superficie.

mesh_min y mesh_max: Definen el área rectangular que será sondeada.

probe_count: Establece el número de puntos de sondeo en X e Y. En este caso, creará una malla de $5 \times 5 = 25$ puntos.

[z_tilt]: Esta sección es para impresoras con dos o más motores en el eje Z. Automatiza el proceso de nivelación del Gantry (el puente del eje X). Mide la altura en dos puntos diferentes sobre la cama y ajusta los motores Z de forma independiente hasta que el Gantry esté perfectamente paralelo a la cama de impresión. Esto es crucial para evitar impresiones inclinadas o torcidas.

```

[bed_mesh]
speed: 150
horizontal_move_z: 10
mesh_min: 32,32
mesh_max: 298,275
probe_count: 5,5

[z_tilt]
z_positions:
    -40, 150
    370, 150
points:
    42, 150
    292, 150
speed: 150
retries: 5
retry_tolerance: 0.0075

```

Figura 222. Ajustes de la cama calefactora en el archivo printer.cfg.

Configuración del extrusor y calefactores

Parámetro	Descripción
[extruder]	Controla todo lo relacionado con la extrusión de filamento.
rotation_distance	Define la cantidad de filamento que se empuja por cada rotación del motor del extrusor. Debe calibrarse para evitar la subextrusión o sobreextrusión.
gear_ratio	Relación de engranajes del extrusor, como en un Bondtech BMG.
heater_pin y sensor_pin	Pines para el cartucho calefactor y el termistor del hotend.
control (pid y pid...)	Algoritmo PID para mantener estable la temperatura del hotend y la cama. Los valores Kp, Ki y Kd se ajustan automáticamente y no deben modificarse sin conocimientos previos.
[heater_bed]	Controla la calefacción y la lectura de temperatura de la cama de impresión.

Tabla 15. Comandos de ajustes para el extrusor. Adaptado de [38]

```
[heater_bed]
heater_pin: P2.5
sensor_type: Generic 3950
sensor_pin: P0.23
smooth_time: 3.0
pwm_cycle_time: 0.0166
max_power: 0.8
control: pid
pid_Kp: 47.690
pid_Ki: 1.556
pid_Kd: 365.338
min_temp: 0
max_temp: 130
```

Figura 223. Ajustes del calefactor cerámico en el archivo printer.cfg.

Ajustes generales

Esta sección define las características y límites globales de la impresora.

kinematics: Define el sistema de movimiento de la impresora. corexy es un sistema específico donde los movimientos X e Y son el resultado de la operación coordinada de dos motores.

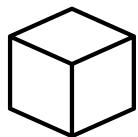
max_velocity: La velocidad máxima de desplazamiento (en mm/s) que la impresora puede alcanzar en los ejes X e Y.

max_accel: La aceleración máxima (en mm/s²) que la impresora utilizará. Este valor tiene un gran impacto en la velocidad de impresión y en la calidad final, ya que valores más altos pueden introducir vibraciones (ghosting).

```
[mcu]
serial: /dev/ttyAMA0
restart_method: command

[printer]
kinematics: corexy
max_velocity: 180
max_accel: 1000
max_z_velocity: 15
max_z_accel: 200
square_corner_velocity: 5.0
```

Figura 224. Parámetros generale de la impresora el archivo printer.cfg.



CALIBRACIÓN

La calibración de una impresora 3D es un proceso fundamental para garantizar que su impresora funcione de manera precisa y confiable. Consiste en ajustar diversos parámetros de la impresora para que sus movimientos y temperaturas se alineen correctamente con las especificaciones necesarias para una impresión de calidad. La calibración no solo afecta la precisión de las piezas impresas, sino que también mejora la adhesión del material a la cama, la consistencia en la extrusión y la fiabilidad general de la máquina.

Es importante tener en cuenta que la calibración de la impresora 3D es un proceso que puede requerir ajustes frecuentes, especialmente después de cambios en el hardware o cuando se detectan problemas en la calidad de impresión.

Para obtener información detallada sobre todos los aspectos de la calibración y la configuración de Klipper, puede consultar la documentación oficial disponible en el siguiente enlace: [Documentación oficial de Klipper](#).

En este manual, solo se aborda tres de los ajustes básicos más importantes que le permitirán mejorar la calidad de sus impresiones:

Calibración del extrusor

conocida como "Rotation Distance" o "E-Steps", es un procedimiento fundamental para garantizar la calidad de impresión, ya que asegura que la cantidad de filamento que el software ordena empujar sea exactamente la que se mueve, evitando así problemas de subextrusión o sobreextrusión [38].

Para realizar este ajuste, necesitará un calibrador, un marcador permanente y un trozo de filamento. El proceso comienza calentando el hotend a su temperatura de impresión habitual para permitir que el filamento fluya correctamente[38].

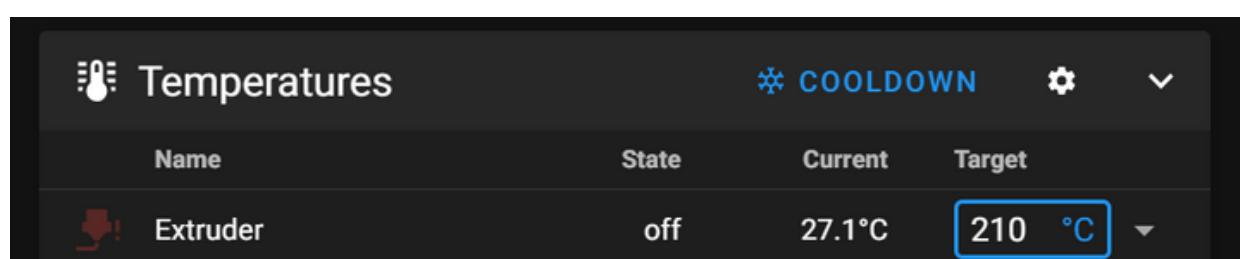


Figura 225. Interfaz de control de temperaturas.

Para este proceso, establece la temperatura del extrusor a 210 °C si estás utilizando filamento PLA. Luego, en la consola, asegúrate de estar en el modo de extrusión relativa ejecutando el comando M83.

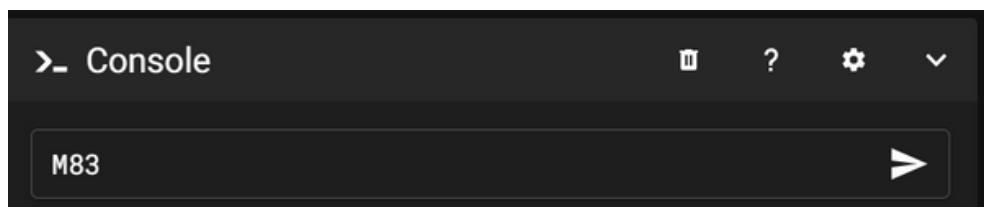


Figura 226. Comando M83 por consola.

A continuación, solicita a la impresora que extruya lentamente 100 mm de filamento utilizando el siguiente comando:

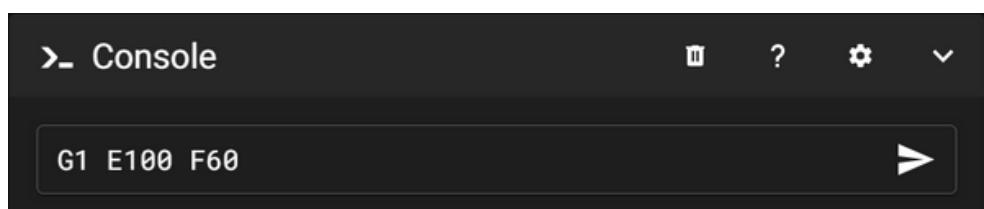


Figura 227. Comando G1 E100 F60 por consola.

Una vez que el extrusor se detenga, mide nuevamente la distancia desde la entrada del extrusor hasta la marca que habías hecho previamente. Si la distancia medida no es de 100 mm, ajusta el valor de `rotation_distance` en el archivo `printer.cfg` utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{nuevo valor} = \text{valor actual} \times \left(\frac{\text{distancia real extruida}}{\text{distancia solicitada}} \right)$$

Nivelación del Gantry (Z-Tilt Adjust)

El ajuste Z-Tilt garantiza que el eje X de tu impresora esté perfectamente paralelo a la cama de impresión. Para realizar este ajuste, simplemente ejecuta el siguiente comando en la consola:

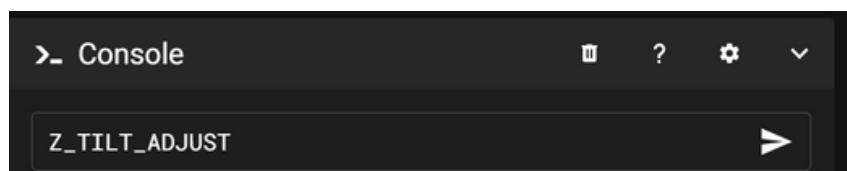


Figura 228. Comando Z_TILT_ADJUST por consola.

También tenemos acceso a esta característica a través del botón central de Z-Tilt, así como a las funciones de Homing mediante el primer botón y apagado de motores a través del botón ubicado en el extremo derecho.

Al presionar Z-TILT, la impresora sondará dos puntos definidos y ajustará los motores automáticamente. Este proceso se recomienda realizar antes de cada impresión para obtener la máxima consistencia.

Creación de la malla de la cama (Bed Mesh)

La creación de una malla de la cama genera un mapa detallado de la superficie de la misma, el cual permite a la impresora realizar ajustes precisos en el eje Z durante la impresión, asegurando una primera capa uniforme y de calidad.

Podemos lograr la calibración ejecutando el siguiente comando:

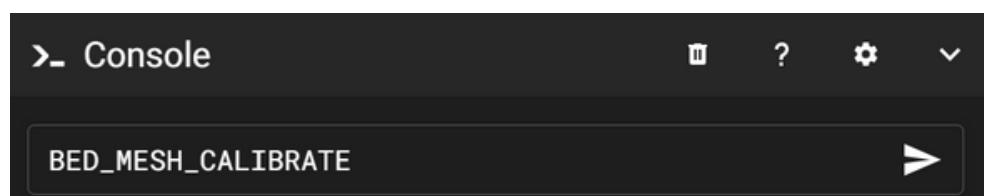


Figura 229. Comando de calibración de cama por consola.

La impresora procederá a medir la altura en los puntos definidos de la rejilla, con un total de 25 puntos programados. Una vez finalizado el proceso, podrás ver una representación visual de la malla en la pestaña "Bed Mesh" de Mainsail.

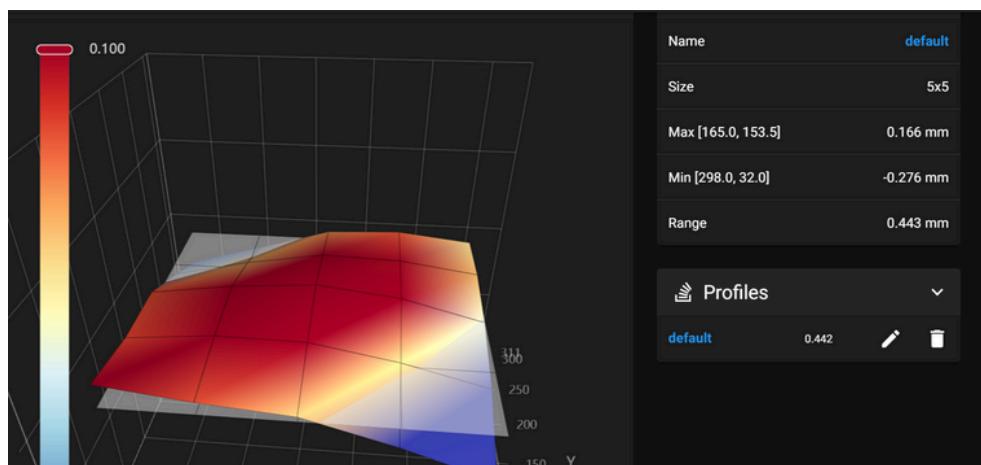
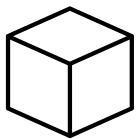


Figura 230. Vista de la malla generada para la superficie.

Para que la malla se cargue automáticamente antes de cada impresión, guarda esta configuración ejecutando el comando: `SAVE_CONFIG`



PRIMERA IMPRESIÓN

Configuración del laminador (Slicer)

El laminador (o slicer) es el software encargado de convertir el modelo 3D de tu impresión en instrucciones que la impresora pueda entender, generando el archivo de G-Code necesario para la impresión. Este proceso se conoce como laminado y consiste en dividir el modelo en capas horizontales y definir la trayectoria de la boquilla para cada capa. Durante este proceso, el laminador también calcula parámetros clave como la velocidad de impresión, la temperatura de la boquilla y la cama, y los movimientos del extrusor [39].

Existen diferentes laminadores disponibles, como lo son Cura, PrusaSlicer y SuperSlicer. Independientemente del software que prefiramos usar lo que se busca es convertir el modelo 3D en un archivo G-Code compatible con la impresora. En este manual trabajaremos con Orca Slicer, un laminador basado en PrusaSlicer que es fácil de usar y permite un control sobre los aspectos de la impresión [39].



ORCA SLICER

Figura 231. Laminador Orca Slicer. Tomado de [39].



Puedes consultar la documentación oficial de Orca Slicer en el siguiente enlace: [Orca Slicer Wiki en GitHub](#). En ese sitio encontrarás guías detalladas, tutoriales y configuraciones de las funciones del laminador.



Todos los ajustes para esta sección específica del manual están basados en la referencia [39], por lo que los procedimientos y recomendaciones que se presentan corresponden a las especificaciones del software mencionado.

Para que el laminador se comunique correctamente con Klipper, es necesario configurar el G-Code de Inicio y el G-Code de Fin en la configuración del laminador.

Estos códigos controlan el comportamiento de la impresora al inicio y al final de cada impresión. Asegúrate de copiar y pegar los siguientes códigos en la configuración de tu impresora en Orca Slicer para garantizar una integración adecuada con Klipper y optimizar el proceso de impresión.

G-Code de inicio

```
M190 S[bed_temperature_initial_layer_single]
M109 S[nozzle_temperature_initial_layer]
PRINT_START EXTRUDER=[nozzle_temperature_initial_layer] BED=
[bed_temperature_initial_layer_single]
; You can use following code instead if your PRINT_START macro support Chamber and
print area bedmesh
; PRINT_START EXTRUDER=[nozzle_temperature_initial_layer] BED=
[bed_temperature_initial_layer_single] Chamber=[chamber_temperature] PRINT_MIN=
{first_layer_print_min[0]},{first_layer_print_min[1]} PRINT_MAX={first_layer_print_max[0]},
{first_layer_print_max[1]}
```

G-Code de fin

```
PRINT_END
G91
G1 Z10 F300
G90
G1 X10 Y10 F6000
M104 S0
M140 S0
M107
M84
```

A continuación, se describen algunos ajustes básicos que son fundamentales para obtener una impresión de calidad, tales como la altura de capa, la costura, la densidad de relleno y el ancho de línea. Estos parámetros tienen un impacto directo en la calidad visual y la resistencia de la impresión.

Si bien estos son algunos de los ajustes esenciales, es importante destacar que existen muchos otros parámetros que influyen en la calidad de la impresión, como la velocidad de impresión, la temperatura de la boquilla y la cama, el tipo de patrón de relleno, entre otros. Se recomienda ampliar el conocimiento sobre estos otros ajustes, ya que no están cubiertos en el alcance de este manual y son cruciales según las necesidades específicas de cada impresión.

Pestaña "Quality" (calidad)

En esta sección, se definen los ajustes que más impactan en el detalle visual de tu impresión.

Altura de Capa (Layer Height): Es uno de los parámetros más importantes, ya que define el grosor de cada capa individual de plástico.

Alturas de capa bajas (ej. 0.12 mm): Producen impresiones con un nivel de detalle muy alto, haciendo que las líneas de capa sean casi invisibles. La desventaja es que los tiempos de impresión son considerablemente más largos.

Alturas de capa altas (ej. 0.28 mm): Resultan en impresiones mucho más rápidas y resistentes, pero las líneas de capa serán más notorias.

Un buen punto de partida podría ser una altura de capa de 0.24 mm para un equilibrio entre calidad y velocidad.

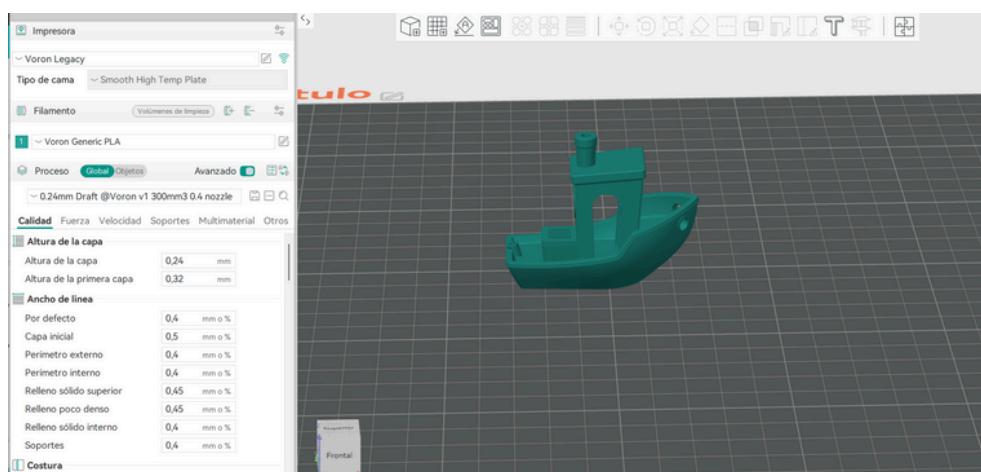


Figura 232. Proceso de laminado.

Ancho de Línea (Line Width):

Está directamente relacionado con el diámetro de la boquilla (0.4 mm para este caso), no siempre son el mismo valor.

Por lo general, Orca Slicer establece automáticamente un ancho de línea ligeramente superior al diámetro de la boquilla.

Esta práctica, a menudo llamada "squish", asegura que las líneas adyacentes se aplasten un poco entre sí, mejorando la adhesión entre ellas y eliminando posibles huecos, lo que resulta en una pieza más sólida.

Ancho de linea		
Por defecto	0,4	mm o %
Capa inicial	0,5	mm o %
Perímetro externo	0,4	mm o %
Perímetro interno	0,4	mm o %
Relleno sólido superior	0,45	mm o %
Relleno poco denso	0,45	mm o %
Relleno sólido interno	0,4	mm o %
Soportes	0,4	mm o %

Figura 233. Ajustes de ancho de linea en el proceso de laminado.

Capas Superiores/Inferiores (Top/Bottom shell layers):

Determina cuántas capas sólidas se imprimirán en la parte superior e inferior de la pieza para cerrarla. Un valor entre 4 y 6 capas sólidas suele ser adecuado para obtener una superficie lisa y sin huecos.

Relleno (Infill):

Es la estructura interna que se imprime dentro del modelo para darle soporte y resistencia.

Densidad de Relleno (Infill density): Se expresa como un porcentaje. No es necesario imprimir piezas 100% sólidas.

15-25%: Perfecto para modelos estándar y figuras decorativas. Ahorra mucho material y tiempo.

30-50%: Ideal para piezas funcionales que requieren una buena resistencia.

+50%: Para piezas que soportarán cargas mecánicas muy altas.

Patrón de Relleno (Infill pattern):

Define la forma de la estructura interna.

Grid (Rejilla) o Cubic: Son buenos patrones de uso general.

Gyroid (Giroide): Es fuerte en todas las direcciones, se imprime relativamente rápido y no hace que la boquilla cruce sobre líneas ya impresas en la misma capa, reduciendo el ruido y las vibraciones. Es el recomendado para empezar.

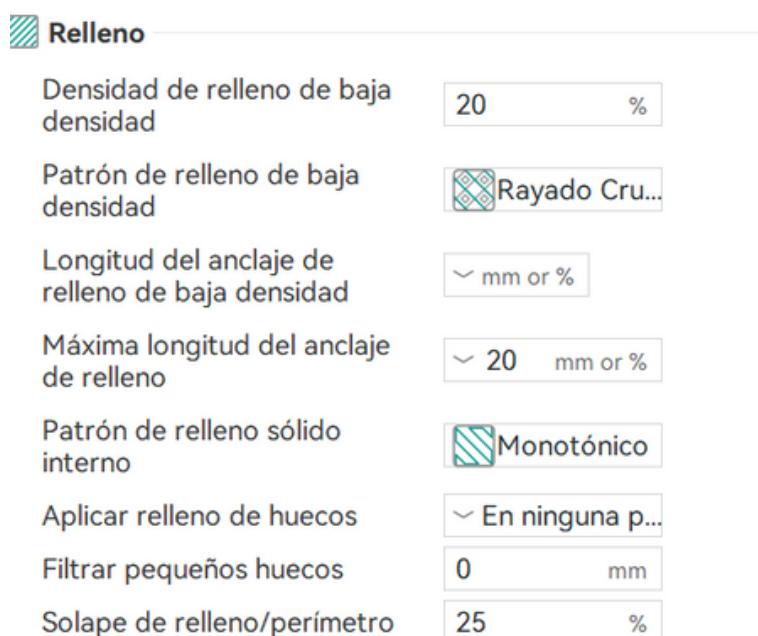


Figura 234. Ajustes de relleno en el proceso de laminado.

Costura (Seam):

La costura es una línea vertical visible que se forma en el punto donde la boquilla comienza y termina cada capa exterior. Es imposible eliminarla por completo, pero se puede controlar.

Posición de la Costura (Seam position):

Aligned (Alineada): Crea una sola línea recta, lo que la hace más fácil de lijado o post-procesamiento si es necesario.

Random (Aleatoria): Distribuye los puntos de inicio por toda la pieza, lo que la hace menos notoria, pero puede dejar pequeñas imperfecciones en toda la superficie.

Back (Atrás): Intenta ocultar la costura en la parte trasera del modelo. Es una opción para la mayoría de los casos.

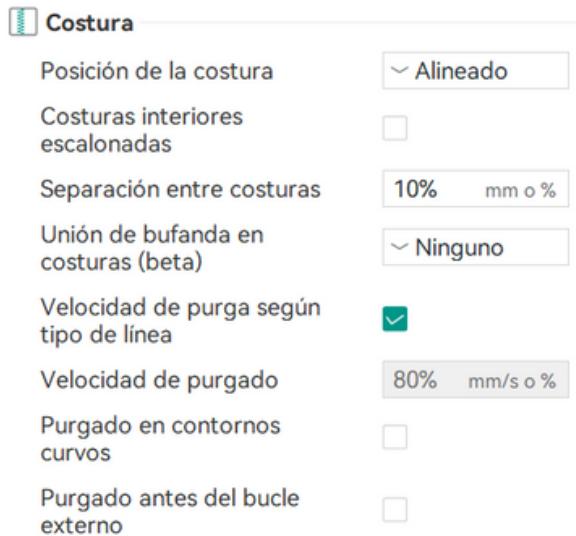


Figura 235. Ajustes de ancho de costura en el proceso de laminado.



Al laminar una pieza, siempre utiliza la función de vista previa ("Preview") en Orca Slicer. Te permite ver exactamente cómo se imprimirá la pieza capa por capa, incluyendo el relleno, las paredes y la posición de la costura. Es la mejor herramienta para evitar sorpresas y asegurar que los parámetros elegidos son los correctos antes de enviar el archivo a la impresora.

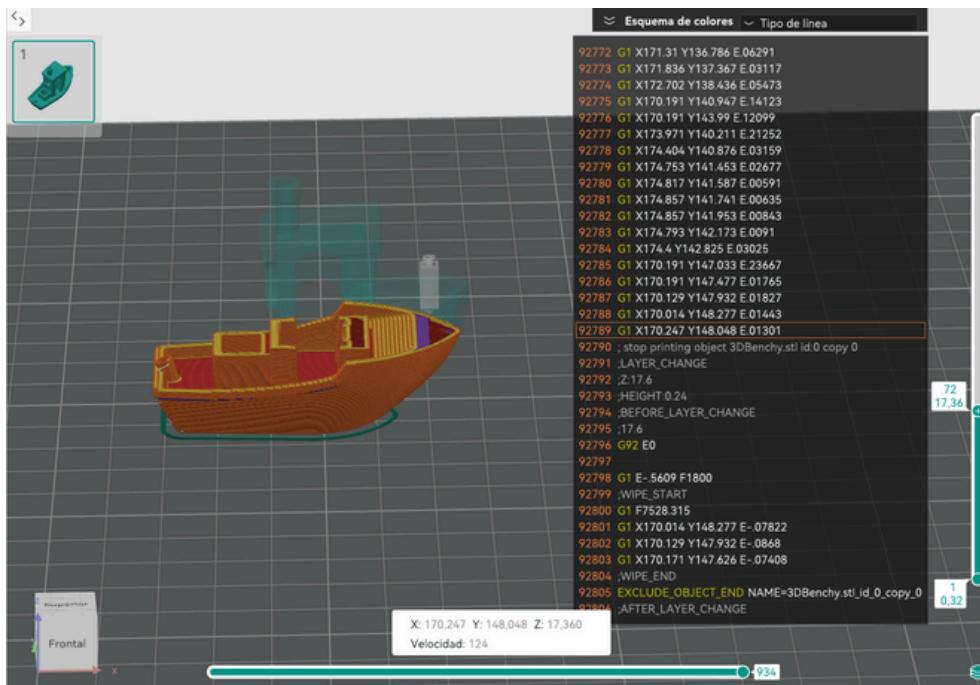


Figura 236. Vista previa del proceso de impresión.

Una vez que hayas revisado y configurado todos los ajustes de impresión en el laminador, estás listo para generar el archivo de instrucciones que la impresora utilizará.

El proceso es sencillo: haz clic en el botón "Laminar bandeja". Orca Slicer analizará el modelo 3D y, basándose en todos los parámetros que has definido (altura de capa, relleno, soportes, etc.), lo cortará en cientos o miles de capas horizontales y generará las trayectorias exactas que la boquilla seguirá.

Una vez completado el laminado, el botón cambiará para mostrar la opción "Imprimir" o "Exportar G-Code". Al seleccionar "Imprimir", el archivo se enviará directamente a tu impresora a través de la red para que comience el trabajo.

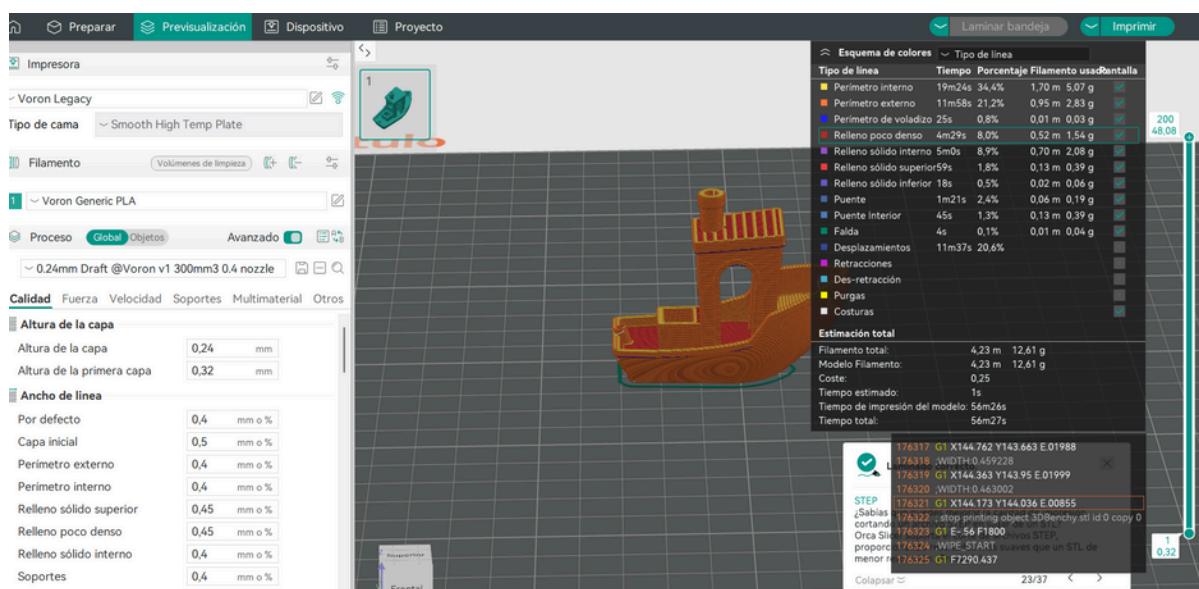


Figura 237. Exportación del archivo de impresión.

Monitoreo de la impresión

Es importante observar varios aspectos clave para monitorear y controlar el proceso de impresión.

Primera Capa:

Es importante estar atentos a la primera capa de la impresión, ya que es crucial para asegurar una buena adherencia al lecho de impresión. Si la primera capa no se adhiere correctamente, pueden surgir problemas durante el proceso de impresión. La visualización en tiempo real de la pieza impresa te permite verificar rápidamente el avance de esta capa inicial y realizar ajustes si es necesario.

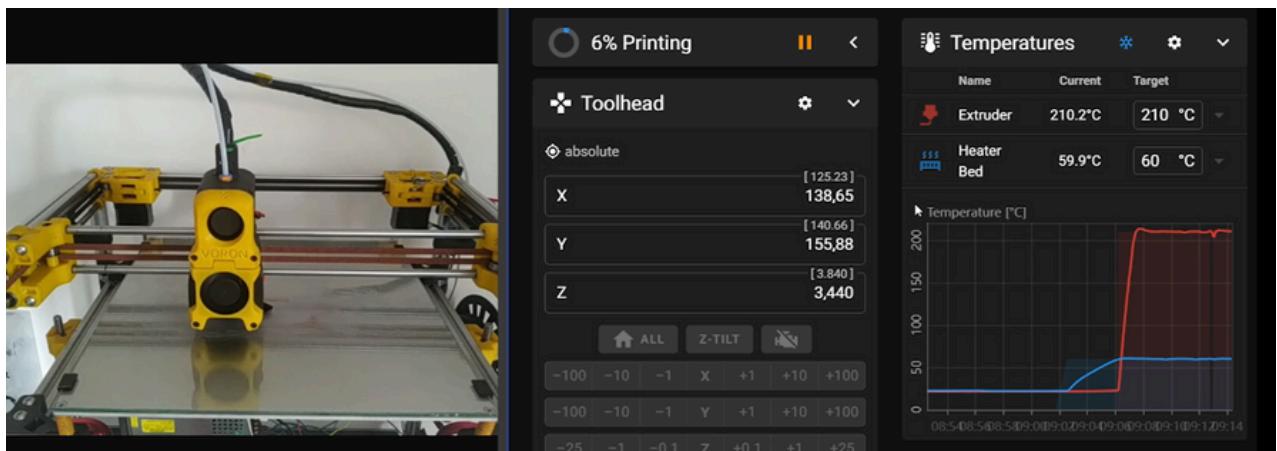


Figura 238. Primera etapa en el proceso de impresión.

Control de Temperaturas:

En la parte derecha de la interfaz, podemos ver los controles de temperatura tanto para el extrusor como para la cama calefactora. En este caso, el extrusor está calentándose a 210.2 °C, con un objetivo de 210 °C, mientras que la cama calefactora está a 59.9 °C, con un objetivo de 60 °C.

Es esencial que ambas temperaturas se establezcan antes y durante todo el proceso de impresión, ya que un mal ajuste de temperatura puede afectar la calidad de la impresión

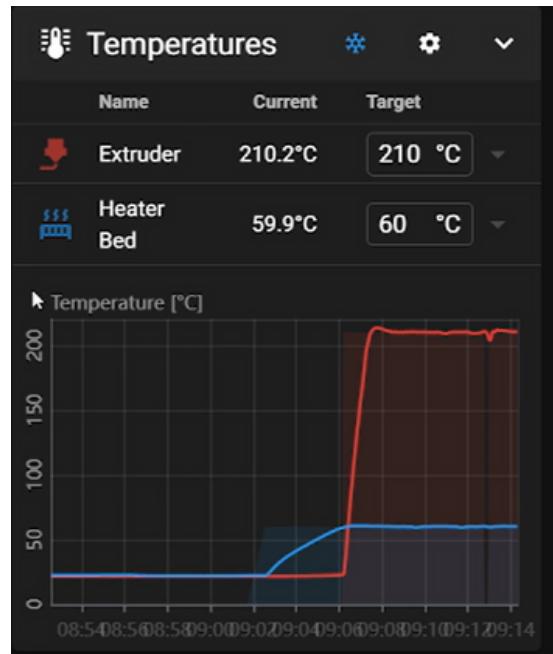


Figura 239. Graficas de temperatura.

Estado y Progreso de la Impresión:

A la izquierda, puedes ver el progreso de la impresión, que indica el tiempo estimado, el tiempo transcurrido y el porcentaje completado. En este caso, la pieza seleccionada es el modelo 3D Benchy, y el progreso se encuentra al 0% en este momento. También puedes observar el flujo de material, que debe mantenerse en cero hasta que la impresora comience a extruir.

Este panel de control es esencial para monitorear la temperatura de los componentes clave y verificar el avance de la impresión en tiempo real.

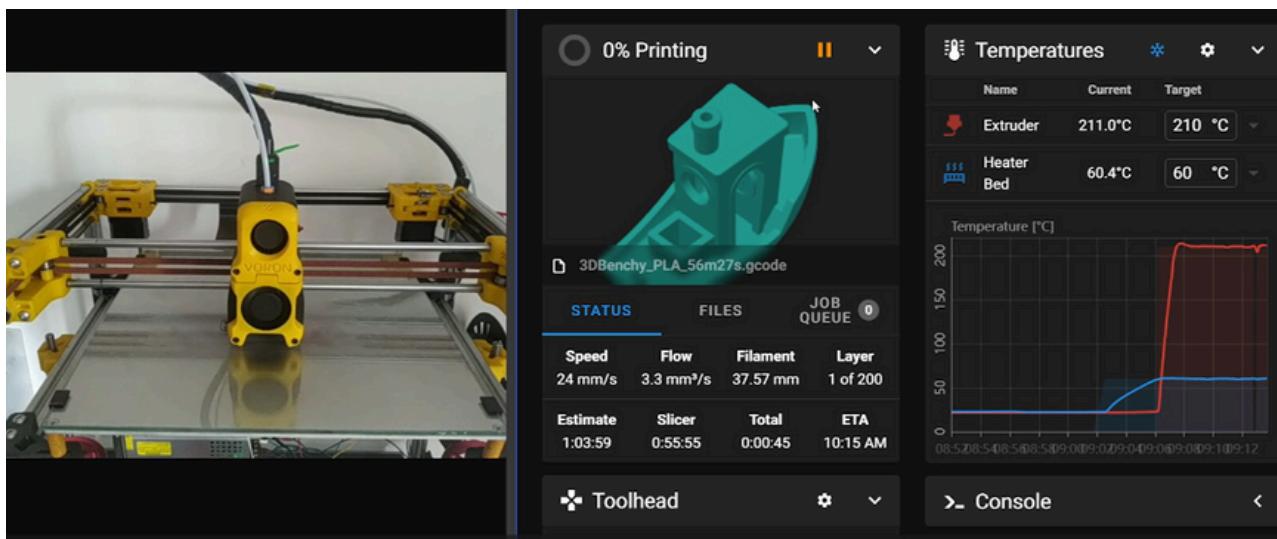


Figura 240. Vista detallada del proceso de impresión.

Pieza impresa y post procesado

Una vez que la impresora ha completado la impresión, es importante realizar algunos pasos de postprocesado para mejorar la calidad de la pieza final.

El postprocesado incluye varias etapas, dependiendo del tipo de impresión y del acabado deseado. Algunos de los pasos :

Eliminación de Soportes: Los soportes pueden ser retirados manualmente o con herramientas especializadas, como pinzas o cortadores.

Lijado: Si la pieza tiene superficies rugosas o marcas visibles de las capas, se puede utilizar papel de lija de diferentes grosores para alisar y suavizar las áreas problemáticas. Esto es especialmente útil para piezas que requieren un acabado estético más fino.

Acabado y Pintura: Si deseas mejorar el aspecto visual de la pieza, puedes aplicar una capa de pintura o utilizar técnicas como el pulido. Para algunas piezas, el pulido con una máquina o con productos específicos puede dar un acabado brillante y suave.

Inspección de Calidad: Es fundamental revisar la pieza para asegurarse de que se haya impreso correctamente, sin defectos, y que las dimensiones sean las esperadas. Si encuentras algún error o imperfección, puedes realizar ajustes en el laminador para la próxima impresión.

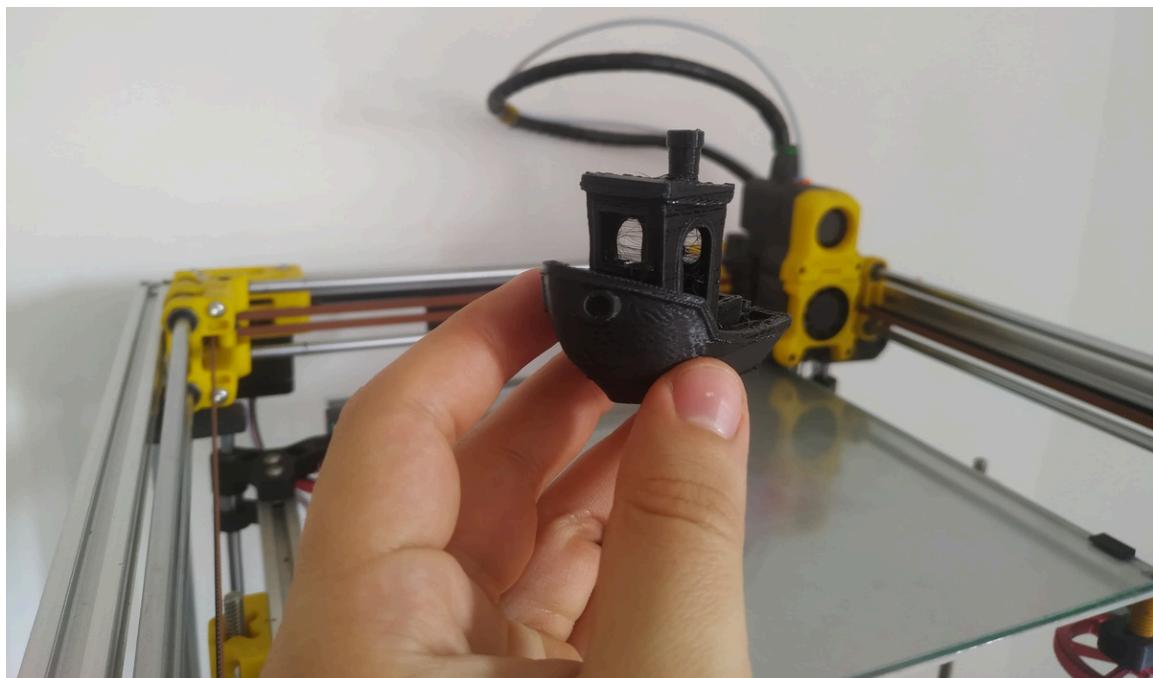


Figura 241. Impresión de pieza completado.

Resultados de la primera impresión: 3D Benchy

En este caso, el modelo 3D Benchy muestra una buena adherencia de la primera capa y detalles nítidos, lo que indica que la configuración de la impresora y del laminador fue adecuada. Sin embargo, siempre es posible mejorar la calidad de la impresión. Ajustes adicionales en parámetros como la temperatura, la calibración de la cama, la velocidad de impresión y la configuración del relleno y las costuras pueden optimizar aún más el proceso, logrando impresiones de mayor calidad y precisión.

A través de la experimentación y la mejora continua en los ajustes en la impresora y laminador, podrás obtener resultados cada vez más refinados. Este manual proporciona los conocimientos fundamentales para comenzar con una impresión 3D exitosa, pero el perfeccionamiento de las configuraciones es clave para obtener piezas con acabados aún más detallados y duraderos.

Conclusiones

Este manual ha presentado los procedimientos básicos para el ensamblaje de la impresora 3D Voron Legacy, abarcando desde la parte mecánica hasta la configuración y operación con el firmware Klipper. A través de las diferentes secciones, se ha abordado cada aspecto del sistema, proporcionando una base para comenzar a trabajar con la impresora.

Asimismo, se ha detallado la configuración del software de laminación para asegurar una comunicación fluida y eficiente con la impresora, garantizando que los ajustes sean los adecuados para obtener impresiones de calidad.

Ahora comienza una fase crucial de optimización y perfeccionamiento continuo. La maestría en la impresión 3D se alcanza mediante la experimentación metódica y el ajuste preciso de los parámetros. Le invito a explorar sistemáticamente las variables de impresión, como las alturas de capa, las velocidades y los patrones de relleno, para comprender su impacto directo en el acabado, la precisión dimensional y la resistencia mecánica de las piezas. El perfeccionamiento de estas configuraciones es el factor clave para trascender de resultados exitosos a piezas con acabados de nivel profesional.

La comunidad global de impresión 3D constituye un valioso recurso para la consulta técnica y el aprendizaje colaborativo, por lo que puede aprovechar ese espacio para continuar su desarrollo en esta disciplina, compartiendo experiencias, resolviendo dudas y accediendo a nuevas ideas y avances.

Agradecimientos

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, por ser la institución que albergó este proyecto de grado, y a todas las personas y dependencias que hicieron posible su desarrollo y culminación.

En este marco académico, un especial reconocimiento a mis asesores, la Ph.D. Eliana Isabel Arango Zuluaga y el Ph.D. Freddy Bolaños Martínez. Su apoyo fue crucial, especialmente dentro del Semillero de Instrumentación, Control y Robótica (SInCRO), donde este proyecto fue desarrollado. Les agradezco profundamente la confianza depositada en mí para llevar a cabo tanto el ensamblado y puesta en marcha de la impresora 3D como la creación de la documentación asociada.

Asimismo, extiendo mi gratitud al personal de la Biblioteca Efe Gómez y, de manera muy particular, al equipo del MakerSpace. Su asesoría técnica, la disposición de sus recursos y el espacio brindado para la experimentación fueron indispensables para superar los desafíos técnicos y enriquecer el alcance de este trabajo.

Finalmente, es imprescindible reconocer el invaluable aporte de la comunidad global de código abierto detrás del proyecto Voron. El conocimiento compartido en foros en línea, servidores de Discord y repositorios de GitHub fue un recurso fundamental para el ensamblaje, la calibración y la resolución de problemas que surgieron durante el desarrollo de este proyecto.

Referencias Bibliográficas

- [1] Voron Design, "About Voron." [En línea]. Disponible en: <https://docs.vorondesign.com/about.html>.
- [2] Voron Design, "Sourcing FAQ." [En línea]. Disponible en: https://docs.vorondesign.com/sourcing_faq.html.
- [3] VoronDesign, "Voron-Legacy." GitHub. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/VoronDesign/Voron-Legacy>.
- [4] 3D Printer Color Configurator, "Voron Legacy Default." [En línea]. Disponible en: <https://www.3dprinter-color-configurator.com/voron-color-configurator/voron-legacy-default.html>.
- [5] Voron Design, "Sourcing Guide-Voron Legacy." [En línea]. Disponible en: https://vorondesign.com/sourcing_guide?model=VL.
- [6] MISUMI, "Aluminum Extrusions -5 Series, Base 20 -Fixed Length." [En línea]. Disponible en: <https://us.misumi-ec.com/vona2/detail/110302683830/>.
- [7] Guangdong Langle Aluminium Profiles Co., Ltd, "China 2020 T-Slot Industrial Aluminium Extrusion Profile." Made-in-China.com. [En línea]. Disponible en: <https://langlealuminium.en.made-in-china.com/product/wqYEVfsHXRie/China-2020-T-Slot-Industrial-Aluminium-Extrusion-Profile-Glass-Display-Cabinet-Aluminium-Profiles-Wood-Grain-Aluminium.html>.
- [8] MISUMI, "Brackets for Aluminum Extrusions." [En línea]. Disponible en: <https://us.misumi-ec.com/vona2/mech/M1500000000/M1501000000/M1501030000/M1501030200/>.
- [9] r/voroncorexy, "Blind Joint Basics," Reddit, jun. 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.reddit.com/r/voroncorexy/comments/hfoeir/blind_joint_basics/.
- [10] E3D-Online, "V6 All-Metal HotEnd." [En línea]. Disponible en: <https://e3d-online.com/products/v6-all-metal-hotend>.
- [11] jlas1, "Klicky-Probe." GitHub. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/jlas1/Klicky-Probe>.

[12] OMRON, "Inductive Proximity Sensor with Stainless Steel Body E2A-S," Hoja de datos D123-E1-06. [En línea]. Disponible en:

https://files.omron.eu/downloads/latest/datasheet/en/d123_e2a-s_-inductive_proximity_sensor_with_stainless_steel_body_datasheet_en.pdf.

[13] VoronDesign, "Mobius-Extruder." GitHub. [En línea]. Disponible en:

<https://github.com/VoronDesign/Mobius-Extruder>.

[14] Analog Devices, "TMC2209-LA, TMC2209-LS -SilentStepStick," Rev 1.09, may. 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/tmc2209_datasheet_rev1.09.pdf.

[15] Molex, "3.00mm Pitch, Micro-Fit 3.0™ Receptacle Housing," Especificación de producto PS-43045-001, nov. 2023. [En línea]. Disponible en:

<https://www.molex.com/content/dam/molex/molex-dot-com/products/automated/en-us/productspecificationpdf/430/43045/430450001-PS-SP-000.pdf>.

[16] HellermannTyton, "Soluciones para la industria de la energía solar," 2016. [En línea]. Disponible en:

https://www.hellermanntyton.es/binaries/content/assets/downloads/es/folletos/competences/catalogo_sector_solar_hellermanntyton_es_2016.pdf.

[17] IEWC, "Strand Charts." [En línea]. Disponible en:

<https://www.iewc.com/resources/technical-guide/strand-charts>.

[18] LDO Motors, "LDO Motors Catalog." [En línea]. Disponible en:

<https://online.fliphtml5.com/akon/obj/#p=16>.

[19] Voron Design, "Initial Startup & Checks." [En línea]. Disponible en:

<https://docs.vorondesign.com/build/startup/>.

[20] bigtreetech, "BIGTREETECH-SKR-V1.3/BTT SKR V1.4." GitHub. [En línea].

Disponible en: <https://github.com/bigtreetech/BIGTREETECH-SKR-V1.3/tree/master/BTT%20SKR%20V1.4>.

[21] RepRap.org, "Mechanical Endstop," jun. 18, 2012. [En línea]. Disponible en:

https://reprap.org/wiki/Mechanical_Endstop.

[22] RepRap.org, "Thermistor," ago. 10, 2023. [En línea]. Disponible en:

<https://reprap.org/wiki/Thermistor>.

[23] Raspberry Pi Ltd, "Raspberry Pi Zero 2 W Product Brief," nov. 2023. [En línea].

Disponible en: <https://datasheets.raspberrypi.com/rpizero2/raspberry-pi-zero-2-w-product-brief.pdf>.

- [24] Roboteach, "Taller #1 Robótica y Programación Diversificado | Raspberry Pi Zero." [En línea]. Disponible en: <https://roboteach.education/taller-1-robotica-y-programacion-diversificado-raspberry-pi-zero/>.
- [25] Raspberry Pi Ltd, "Raspberry Pi documentation - Raspberry Pi Zero 2 W." [En línea]. Disponible en:
<https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/raspberry-pi.html#raspberry-pi-zero-2-w>.
- [26] bigtreetech, "BIGTREETECH-TMC2209-V1.2." GitHub. [En línea]. Disponible en:
<https://github.com/bigtreetech/BIGTREETECH-TMC2209-V1.2>.
- [27] OMC STEPPERONLINE, "Nema 17 Bipolar 45Ncm (63.74oz.in) 1.5A 42x42x39mm 4 Hilos con 1m de Cable y Conector (17HS15-1504S1)." [En línea]. Disponible en:
<https://www.omc-stepperonline.com/es/nema-17-bipolar-45ncm-63-74oz-in-1-5a-42x42x39mm-4-cables-con-1m-de-cable-y-conector-17hs15-1504s1>.
- [28] StepperOnline, "Stepperonline Specification, Model: 17HS15-1504S1," Hoja de datos. [En línea]. Disponible en: https://www.stepperonline.co.uk/index.php?route=product/product/get_file&file=829/17HS15-1504S1_Full_Datasheet.pdf.
- [29] KLS Electronic, "KLS7-KW10 Series Micro Switch," Hoja de datos. [En línea]. Disponible en: <https://cdn.promelec.ru/upload/items/2025/02/24/KLS7-KW10.pdf>.
- [30] Duet3D, "Connecting a bed heater." [En línea]. Disponible en:
https://docs.duet3d.com/User_manual/Connecting_hardware/Heaters_bed.
- [31] Thinking Electronic Industrial Co., Ltd., "NTC Thermistor Model: NTC-3950-100K," Hoja de datos. [En línea]. Disponible en:
http://fab.cba.mit.edu/classes/863.18/CBA/people/erik/reference/11_NTC-3950-100K.pdf.
- [32] T. B. Kovács y G. Körtélyesi, "The effects of annealing on the mechanical properties of PLA and PET-G 3D prints," Periodica Polytechnica Mechanical Engineering, vol. 65, no. 3, pp. 293-299, 2021. [En línea]. Disponible en:
<https://pp.bme.hu/me/article/download/16203/9034/96302>.
- [33] SR Passives, "NTC Thermistor NTCM-100K-B3950," Hoja de datos. [En línea]. Disponible en:
<https://www.tme.eu/Document/f9d2f5e38227fc1c7d979e546ff51768/NTCM-100K-B3950.pdf>.

[34] BCN3D, "BCN3D PLA -Technical Data Sheet," sep. 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.bcn3d.com/wp-content/uploads/2019/09/BCN3D_FILAMENTS_TechnicalDataSheet_PLA_EN.pdf.

[35] Klipper3D, "Klipper." [En línea]. Disponible en: <https://www.klipper3d.org/>.

[36] Mainsail, "Mainsail Documentation." [En línea]. Disponible en: <https://docs.mainsail.xyz/>.

[37] Raspberry Pi Ltd, "Raspberry Pi OS." [En línea]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.com/software/>.

[38] Klipper3D, "Configuration reference." [En línea]. Disponible en: https://www.klipper3d.org/Config_Reference.html.

[39] SoftFever, "OrcaSlicer Wiki." GitHub. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/SoftFever/OrcaSlicer/wiki>.