

FabLab



Manual de Operación para el Mecanizado CNC de PCBs (Roland SRM-20)

Autor: Javier Salas Bocaz

Agradecimientos: Se agradece a Bastián Urra Alcaino por el apoyo y las discusiones técnicas durante el desarrollo de este manual.

Versión: 1.0

Otoño 2026

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	4
OBJETIVOS	5
RIESGOS Y MEDIDAS DE SEGURIDAD.....	6
RIESGOS ASOCIADOS A LOS MATERIALES DE PLACAS PCB	6
FR-4 (<i>Fibra de vidrio y resina epoxi</i>).....	6
FR-1 y FR-2 (<i>Papel fenólico y resina</i>).....	6
Materiales CEM (<i>CEM-1 / CEM-3</i>)	7
EPP OBLIGATORIO	7
EQUIPAMIENTO REQUERIDO Y RECOMENDACIONES	7
RESUMEN DE EQUIPAMIENTO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP) REQUERIDO	8
MAPA MENTAL CONCEPTUAL	9
CONOCIENDO LAS PARTES DE LA ROLAND SRM-20	10
CARA FRONTAL	10
CARA LATERAL.....	11
CARA TRASERA	12
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS RELEVANTES DE LA ROLAND SRM-20	13
INTRODUCCIÓN A LA PROGRAMACIÓN DEL SRM-20 (G-CODE ISO 6983-1 / RS-274)	14
INSTALACIÓN DE SOFTWARE ASOCIADO AL SRM-20 (CONTROLADOR Y VPANEL)	15
PREPARACIÓN INICIAL	15
PROCEDIMIENTO DE DESCARGA DEL CONTROLADOR.....	17
PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DEL CONTROLADOR	19
PROCEDIMIENTO DE DESCARGA DE VPANEL	22
PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE VPANEL	24
INSTALACIÓN DE SOFTWARE ASOCIADO A LA GENERACIÓN G-CODE (FLATCAM)	26
PROCEDIMIENTO DE DESCARGA E INSTALACIÓN DE FLATCAM.....	26
UTILIZACIÓN DE VPANEL	30
FUNCIONES DE LA PANTALLA PRINCIPAL.....	31
DIÁLOGO DE CONFIGURACIÓN (<i>SETUP</i>).....	33
DIÁLOGO DE CORTE (<i>CUT</i>)	34
MENSAJES DE ERROR EN VPANEL	35
UTILIZACIÓN DE FLATCAM	36
CONCEPTOS BÁSICOS	37
BREVE INTRODUCCIÓN A LOS ARCHIVOS GERBER Y EXCELLON.....	38
ABRIENDO ARCHIVOS GERBER Y EXCELLON EN FLATCAM	38
DEFINICIÓN DEL ORIGEN	40
MODO ESPEJO.....	41
ISOLATION ROUTING (TRAYECTORIA DE AISLAMIENTO)	42
DRILLING TOOL (TRAYECTORIA DE PERFORACIÓN)	50
CUTOUT TOOL (TRAYECTORIA DE CORTE DE CONTORNO)	54
OPERACIÓN, HERRAMIENTAS Y PARÁMETROS CORRECTOS.....	60

HERRAMIENTAS DE CORTE PARA PCB.....	60
ÁREA DE CORTE	62
ELABORACIÓN DE PARÁMETROS DE MECANIZADO	64
<i>Resumen Operativo: Formulas Generales (Elaboración de Parámetros de Mecanizado)</i>	66
FRESAS CÓNICAS (<i>V-BIT</i>)	67
<i>Resumen Operativo: Aislamiento de Pistas (Fresas Cónicas o V-bit)</i>	68
BROCA (<i>DRILL</i>)	69
<i>Resumen Operativo: Perforado de PCB (Broca o Drill)</i>	70
FRESA DE MAÍZ (CORN END MILL)	71
<i>Resumen Operativo: Corte de Contorno (Fresa de Maíz o Corn End Mill)</i>	72
PARÁMETROS RÁPIDOS DE REFERENCIA PARA EL MECANIZADO	73
FLUJO COMPLETO DE TRABAJO	74
RECOMENDACIÓN DE DISEÑO CAD	74
GENERACIÓN ARCHIVOS GERBER Y EXCELLON (PROTEUS 8 Y KICAD 9)	75
<i>KiCad 9</i>	75
<i>Proteus 8</i>	79
IMPORTAR ARCHIVOS GERBER Y EXCELLON EN FLATCAM	84
MODO ESPEJO.....	85
CÁLCULO DE TRAYECTORIAS DE MECANIZADO	86
<i>Resumen Operativo: Parámetros de Mecanizado</i>	88
EXPORTAR G-CODE (ISO 6983-1 / RS-274)	89
MATERIALES Y EQUIPAMIENTO NECESARIO	90
PREPARACIÓN DE LA ROLAND SRM-20	91
PREPARACIÓN DE LA PLACA	92
INSTALACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE CORTE Y DEFINICIÓN DE CEROS.....	94
CARGAR G-CODE EN VPANEL.....	97
EJECUCIÓN DEL MECANIZADO.....	98
<i>Aislación de Pistas</i>	98
<i>Perforación de Placa PCB</i>	103
<i>Corte de Contorno del PCB</i>	108
RETIRO DE LA PLACA PCB MECANIZADA	111
<i>Limpieza Segura de la Roland SRM-20</i>	113
CHECKLIST DE ERRORES COMUNES DURANTE EL MECANIZADO CNC DE PCBS.....	116
NOTA DE SEGURIDAD	116
AISLACIÓN DE PISTAS	117
PERFORADO DE LA PLACA.....	118
CORTE DE CONTORNO DEL PCB	119
CONCLUSIONES	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121

Introducción

El mecanizado CNC de placas de circuito impreso (PCB) permite la fabricación rápida de prototipos electrónicos directamente a partir de archivos digitales, eliminando la necesidad de procesos químicos y reduciendo significativamente los tiempos de desarrollo. En este contexto, la correcta preparación de los archivos de diseño y la comprensión del flujo de trabajo son factores clave para obtener resultados precisos, repetibles y seguros.

El presente manual establece y estandariza los procedimientos de mecanizado CNC de PCBs, constituyéndose como el documento normativo vigente para su aplicación en el entorno de laboratorio y sustituyendo cualquier procedimiento o documentación anterior relacionada con este proceso.

Se adopta un enfoque progresivo, introduciendo en primer lugar las herramientas de software y el equipo de mecanizado involucrados en el proceso, para posteriormente presentar el flujo completo de trabajo. Este enfoque busca que el usuario comprenda el rol de cada herramienta y los conceptos técnicos asociados antes de ejecutar el mecanizado de forma integral en la máquina.

El contenido abarca desde la preparación de los archivos de diseño hasta la ejecución del mecanizado, considerando un flujo de trabajo basado en el uso de Proteus o KiCad como herramientas de diseño asistido por computador (CAD), FlatCAM como software de manufactura asistida por computador (CAM) y la Roland SRM-20 como equipo de mecanizado CNC.

Este manual está orientado a estudiantes y usuarios con conocimientos básicos de diseño de PCBs que deseen realizar el mecanizado de sus propias placas de manera segura y controlada. No se asume experiencia previa en el uso de la SRM-20, sin embargo, se requiere una comprensión básica del entorno CAD. Los procedimientos descritos corresponden a un flujo de trabajo específico y validado para el entorno de laboratorio, por lo que pueden diferir de otros métodos o configuraciones existentes.

Objetivos

Objetivo general

Establecer un procedimiento claro, seguro y reproducible para el mecanizado CNC de placas de circuito impreso (PCB) mediante la fresadora Roland SRM-20, integrando el uso de herramientas CAD y CAM, y promoviendo la comprensión de los conceptos técnicos involucrados antes de la ejecución del proceso de mecanizado.

Objetivos específicos

- Comprender el flujo general de trabajo para el mecanizado CNC de PCBs, diferenciando las etapas de diseño (CAD), procesamiento CAM y operación de la máquina.
- Identificar el rol y las funciones de los softwares utilizados en el proceso, específicamente Proteus/KiCad y FlatCAM, así como su interacción con la fresadora Roland SRM-20.
- Generar correctamente los archivos Gerber y Excellon, aplicando criterios adecuados de exportación y asegurando coherencia geométrica entre capas y archivos de perforado.
- Configurar los parámetros de mecanizado en FlatCAM, considerando las características del material, las herramientas de corte y las limitaciones propias de la SRM-20.
- Aplicar buenas prácticas de operación y seguridad durante el mecanizado CNC, reduciendo el riesgo de errores, daños al equipo o fallas en la fabricación de la placa.

Riesgos y Medidas de Seguridad

El presente procedimiento está diseñado para asegurar el cumplimiento de las condiciones sanitarias y ambientales en el lugar de trabajo, conforme a lo establecido en el Decreto Supremo N.º 594/1999, que regula las condiciones básicas de higiene y seguridad en los ambientes laborales. Asimismo, la Institución se encuentra obligada por la Ley N.º 16.744 a prevenir enfermedades profesionales derivadas de la exposición a agentes peligrosos generados durante procesos de mecanizado, tales como polvo respirable proveniente del fresado de placas para circuitos impresos (PCB).

En el contexto del fresado CNC en la Roland SRM-20, los materiales comúnmente utilizados como sustrato de placas PCB incluyen FR-1, FR-2, FR-4 y materiales compuestos tipo CEM. No obstante, el FR-4 representa el mayor riesgo sanitario, motivo por el cual este procedimiento pone especial énfasis en su control.

Riesgos asociados a los materiales de placas PCB

FR-4 (Fibra de vidrio y resina epoxi)

El fresado de FR-4 genera polvo respirable compuesto de:

- Fibra de vidrio (material abrasivo y cortante).
- Resina epoxi (la mezcla de polvo y resinas epoxi carbonizadas aumenta la toxicidad).

Según la MSDS (*Material Safety Data Sheet*) de Acculam Epoxyglas (NEMA Grades G10/G11/FR4), fecha 14 de diciembre de 2010, en la Sección 3: *Hazards Identification*, la exposición por inhalación a polvo o partículas liberadas durante operaciones de corte, perforado o fresado puede provocar los siguientes síntomas a corto plazo:

- Irritación moderada de las membranas mucosas.
- Tos y malestar respiratorio.
- Irritación de la piel (dermatitis).

El mismo documento de Acculam indica que la exposición prolongada puede derivar a enfermedades pulmonares de carácter persistente (crónicos), en línea con los efectos mencionados.

FR-1 y FR-2 (Papel fenólico y resina)

Las placas FR-1 y FR-2 están compuestas por papel impregnado con resina fenólica y recubierto de cobre. Durante su mecanizado:

- Se genera polvo de origen orgánico y fenólico, sin presencia de fibra de vidrio.
- El riesgo respiratorio es menor en comparación con FR-4, aunque no inexistente.
- Puede provocar irritación leve de vías respiratorias y piel en exposiciones prolongadas.

Si bien estos materiales son más blandos y menos agresivos para la herramienta, se mantienen las mismas medidas básicas de protección, especialmente durante limpieza y manipulación posterior al mecanizado.

Materiales CEM (CEM-1 / CEM-3)

Los materiales CEM corresponden a compuestos epoxis intermedios:

- CEM-1: núcleo de papel fenólico con capas superficiales de fibra de vidrio.
- CEM-3: compuesto con mayor contenido de fibra de vidrio, más cercano al FR-4.

Durante el fresado de estos materiales se genera polvo mixto que puede contener resina epoxi y fibra de vidrio en menor proporción, por lo que el riesgo sanitario es intermedio entre FR-1/FR-2 y FR-4. Por este motivo, se aplican las mismas medidas preventivas definidas para FR-4 cuando exista presencia de fibra de vidrio.

EPP Obligatorio

Durante el proceso de mecanizado, la Roland SRM-20 opera con la puerta de la cabina cerrada, lo que actúa como control primario de contención de partículas. La exposición potencial al polvo de FR-4 ocurre principalmente durante la apertura de la máquina, el retiro de la placa y las tareas de limpieza.

Para estas etapas, se exige el uso de mascarilla con filtro de partículas tipo P2 / N95 (o equivalentes KN95), correctamente ajustada sobre la nariz y boca. En caso de contar con filtros de mayor eficiencia (P100 / FFP3), su uso es preferente, sobre todo cuando existe contacto prolongado, aunque no es excluyente.

Adicionalmente, se exige la utilización de:

- Delantal de laboratorio o vestimenta protectora que cubra gran parte del cuerpo, con el fin de minimizar el contacto con polvo de FR-4.
- Pantalones largos, no se permite el uso de shorts.
- Calzado cerrado (no se exige el uso de calzado de seguridad).

Equipamiento Requerido y Recomendaciones

El mecanizado de placas PCB (FR-1, FR-2, FR-4 y CEM) en la Roland SRM-20 debe realizarse exclusivamente en seco. El uso de aceite o cualquier lubricante líquido en este proceso está absolutamente prohibido:

- La mezcla de aceite con el polvo de fibra de vidrio genera una pasta abrasiva altamente dañina para el equipamiento.
- Esta pasta se adhiere al filo de la fresa, acelerando el desgaste, provocando vibración, pérdida de precisión y reducción drástica de la vida útil de la herramienta.
- El aceite aumenta la concentración y adhesión del polvo de FR-4, elevando la toxicidad del proceso.

Se debe mantener el área de trabajo limpia antes, durante y después de la utilización de la CNC Roland SRM-20:

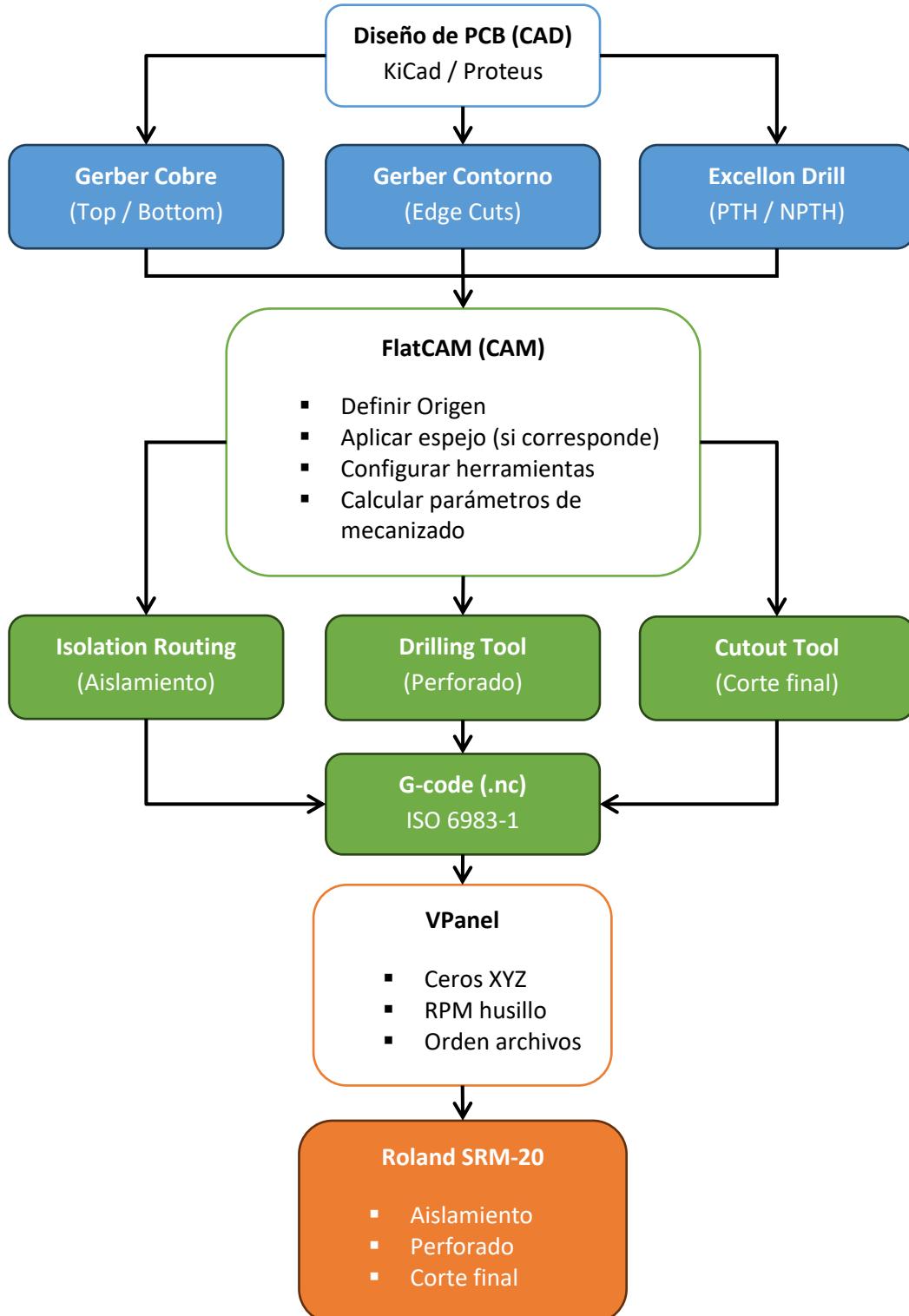
- Utilizar una aspiradora con filtro HEPA y escobilla cerca de la boquilla de aspiración para limpiar el área de trabajo.
- No soplar o utilizar aire comprimido para limpiar la zona de trabajo. Esta acción dispersa peligrosamente las partículas respirables de FR-4 (PM2.5/PM10) en el ambiente del laboratorio, exponiendo a todos los usuarios al riesgo de inhalación.

Resumen de Equipamiento de Protección Personal (EPP) requerido

Elemento	Tipo / Especificación	Carácter	Observaciones	Imagen Referencial
Mascarilla	Filtro de partículas tipo N95 o equivalente KN95	Obligatorio	Uso durante la apertura de la máquina, retiro de la placa y tareas de limpieza. Debe estar correctamente ajustada sobre la nariz y boca.	
Protección corporal	Delantal de laboratorio o vestimenta protectora	Obligatorio	Debe cubrir gran parte del cuerpo para minimizar el contacto con polvo de FR-4.	
Protección ocular	Lentes de seguridad cerrados (antiparras)	Recomendado	Especialmente durante tareas de limpieza.	
Vestimenta inferior	Pantalones largos	Obligatorio	No se permite el uso de shorts.	
Calzado	Calzado cerrado	Obligatorio	No se permite el uso de sandalias. Nota: el calzado de seguridad no es requerido.	

Mapa Mental Conceptual

El siguiente mapa resume el flujo completo de trabajo para el mecanizado CNC de placas de circuito impreso mediante la Roland SRM-20. En él se muestran las etapas de diseño (CAD), preparación de manufactura (CAM) y operación de la máquina.



Conociendo las Partes de la Roland SRM-20

Cara Frontal



Figura 1 Máquina CNC SRM-20. Fuente: Roland DG Corporation

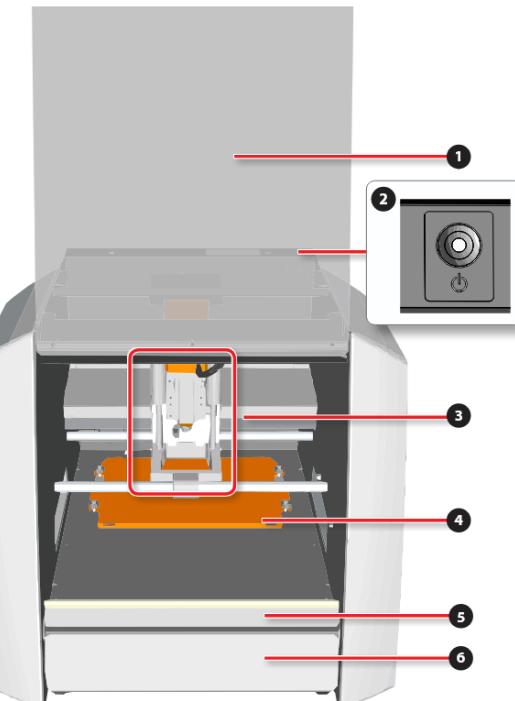


Figura 2 Cara frontal del SRM-20. Fuente: Roland DG Corporation

No.	Nombre	Descripción	Notas / Advertencias
1	Cubierta frontal	Panel frontal de la máquina.	-
2	Botón de encendido	Interruptor principal de encendido.	-
3	Cabezal del husillo	Conjunto que incluye el motor del husillo y los mecanismos asociados.	PRECAUCIÓN: No mover el cabezal del husillo ni la mesa con las manos en ninguna circunstancia. Puede causar daños o fallas.
4	Mesa	Superficie donde se fija la pieza de trabajo.	-
5	Protector frontal	Cubierta protectora frontal para operación segura.	-
6	Bandeja de residuos	Recoge el polvo y material mecanizado.	-

Cara Lateral

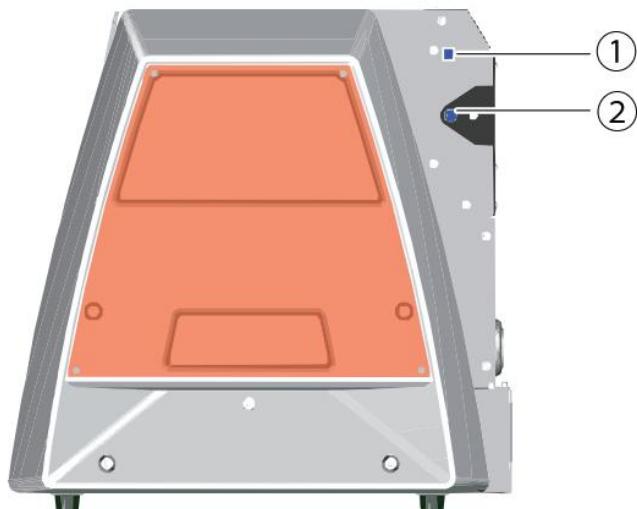


Figura 3 Cara lateral del SRM-20. Fuente: Roland DG Corporation

No.	Nombre	Descripción
1	Conector USB	Puerto para la conexión de datos entre la máquina y el computador.
2	Conector de alimentación	Entrada para el adaptador de corriente que suministra energía a la máquina.

Cara Trasera



Figura 4 Cara trasera del SRM-20. Fuente: Roland DG Corporation

La cara trasera presenta la pegatina de garantía, no remover.

Especificaciones Técnicas Relevantes de la Roland SRM-20

Las especificaciones técnicas de la Roland SRM-20 establecen los límites físicos y operativos dentro de los cuales se desarrollará todo el proceso de fresado de PCBs descrito en los capítulos posteriores.

Parámetros como la velocidad de avance, la velocidad de rotación del husillo, la resolución de software y el conjunto de comandos soportados determinan, por ejemplo, los valores de avance que se ingresan en FlatCAM, el tipo de herramientas que pueden utilizarse, la profundidad de corte segura y el formato del G-code generado. En otras palabras, las configuraciones de software y los cálculos presentados más adelante están directamente condicionados por las capacidades reales de la SRM-20.

Por este motivo, esta sección actúa como un marco de referencia para los capítulos siguientes.

Material Cortable	Cera para modelar, madera química, espuma, acrílico, poliacetato, ABS, PCB.
Velocidad de Operación	6 - 1800 mm/min
Resolución de Software	0,01 mm/paso (RML-1), 0,001 mm/paso (NC code)
Conjuntos de Comandos de Control	RML-1, NC code
Motor de Husillo	Motor de corriente continua tipo 380
*Velocidad de rotación del husillo	Ajustable mediante VPanel: 3000 – 7000 RPM (En la práctica el máximo es de ≈ 8000 RPM)
Llave Allen (Hexagonal)	2 y 3 mm / 0,08 y 0,12 pulgadas

*En la Roland SRM-20, la velocidad de rotación del husillo no es controlada mediante G-code. Esta se ajusta exclusivamente desde el software VPanel antes de iniciar el mecanizado, manteniéndose constante durante toda la ejecución del trabajo.

Introducción a la Programación del SRM-20 (G-code ISO 6983-1 / RS-274)

La Roland SRM-20 se opera mediante trayectorias de mecanizado generadas por software CAM, las cuales describen los movimientos de la herramienta en términos de coordenadas, profundidades de corte y velocidades de avance.

En este procedimiento se utiliza G-code estándar (ISO / RS-274) como lenguaje de programación intermedio, generado a partir de FlatCAM. En el G-code, las trayectorias se expresan directamente en unidades físicas (milímetros), incluyendo parámetros como profundidad Z y *feedrate* en mm/min.

El SRM-20 no interpreta G-code de forma nativa. Por lo tanto, cuando se utiliza G-code, este es procesado previamente por el software y controlador de Roland (VPanel), el cual se encarga de convertir las instrucciones en milímetros a los comandos internos que la máquina puede ejecutar.

Desde el punto de vista del usuario, el flujo de trabajo es el siguiente:

1. Diseño del PCB en software CAD
2. Generación de trayectorias de aislamiento y perforado en FlatCAM
3. Exportación de trayectorias en G-code (unidades en mm)
4. Carga y ejecución del archivo mediante VPanel

Ejemplo de G-code:

(...) G21 G90 G94 G01 F60.00 M5 G00 Z15.0000 G00 X0.0000 Y0.0000 T1 (MSG, Change to Tool Dia = 0.1577) M0 G00 Z15.0000 M03 G01 F60.00 G00 X12.4057 Y0.0402 G01 F30.00 G01 Z-0.0500 G01 F60.00 (...)	Este fragmento de G-code configura la máquina para trabajar en milímetros, utilizando coordenadas absolutas y definiendo las velocidades de avance en milímetros por minuto. A continuación, establece la velocidad de avance que se usará durante el mecanizado y se asegura de que el husillo esté detenido antes de iniciar cualquier movimiento. Luego, la herramienta se eleva a una altura segura y se posiciona en el origen del sistema de coordenadas. El programa indica el uso de la herramienta seleccionada. Una vez completada la preparación, el husillo se pone en marcha y la herramienta se desplaza hasta el punto inicial de la trayectoria de mecanizado. La bajada del eje Z se realiza de forma controlada y a una velocidad reducida hasta alcanzar la profundidad de corte definida. Finalmente, se restablece la velocidad de avance para continuar el mecanizado horizontal sobre el material.
---	---

En capítulos posteriores de este manual se entrará en mayor detalle sobre el flujo de trabajo completo, incluyendo la generación de G-code en FlatCAM, la configuración de parámetros de mecanizado y la ejecución segura de los trabajos mediante VPanel.

Instalación de Software Asociado al SRM-20 (Controlador y VPanel)

VPanel es el software dedicado para controlar el SRM-20. El funcionamiento de la máquina y diversas configuraciones se realizan mediante este software.

Nota al lector:

Estas secciones (instalación y descarga de softwares asociados) están orientadas a estudiantes que utilizarán la Roland SRM-20 por primera vez y a encargados del FabLab responsables de la instalación o reinstalación del sistema.

Si el software ya se encuentra correctamente instalado y operativo, pueden omitirse estas secciones de descarga e instalación y continuar directamente con el capítulo de utilización de VPanel y FlatCAM.

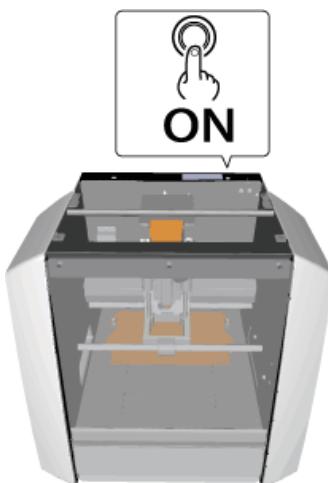
Preparación Inicial

1. Conecte la máquina al cable de alimentación y al adaptador de CA.



2. Pulse el botón de encendido. Se iniciarán las operaciones iniciales.

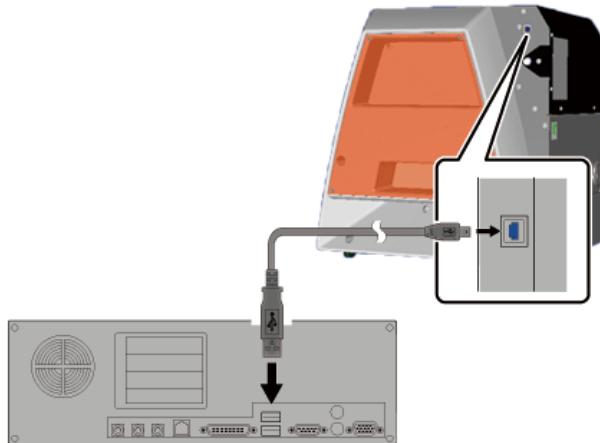
Cuando la luz verde deje de parpadear y permanezca encendida, la inicialización estará completa.



3. Conecte este dispositivo al ordenador mediante un cable USB.

Al conectar los dispositivos, preste atención a los puntos que se indican a continuación. De lo contrario, el ordenador podría no comunicarse correctamente con el dispositivo.

- Utilice el cable USB incluido.
- No utilice un concentrador (*hub*) USB.
- No utilice un cable alargador USB.



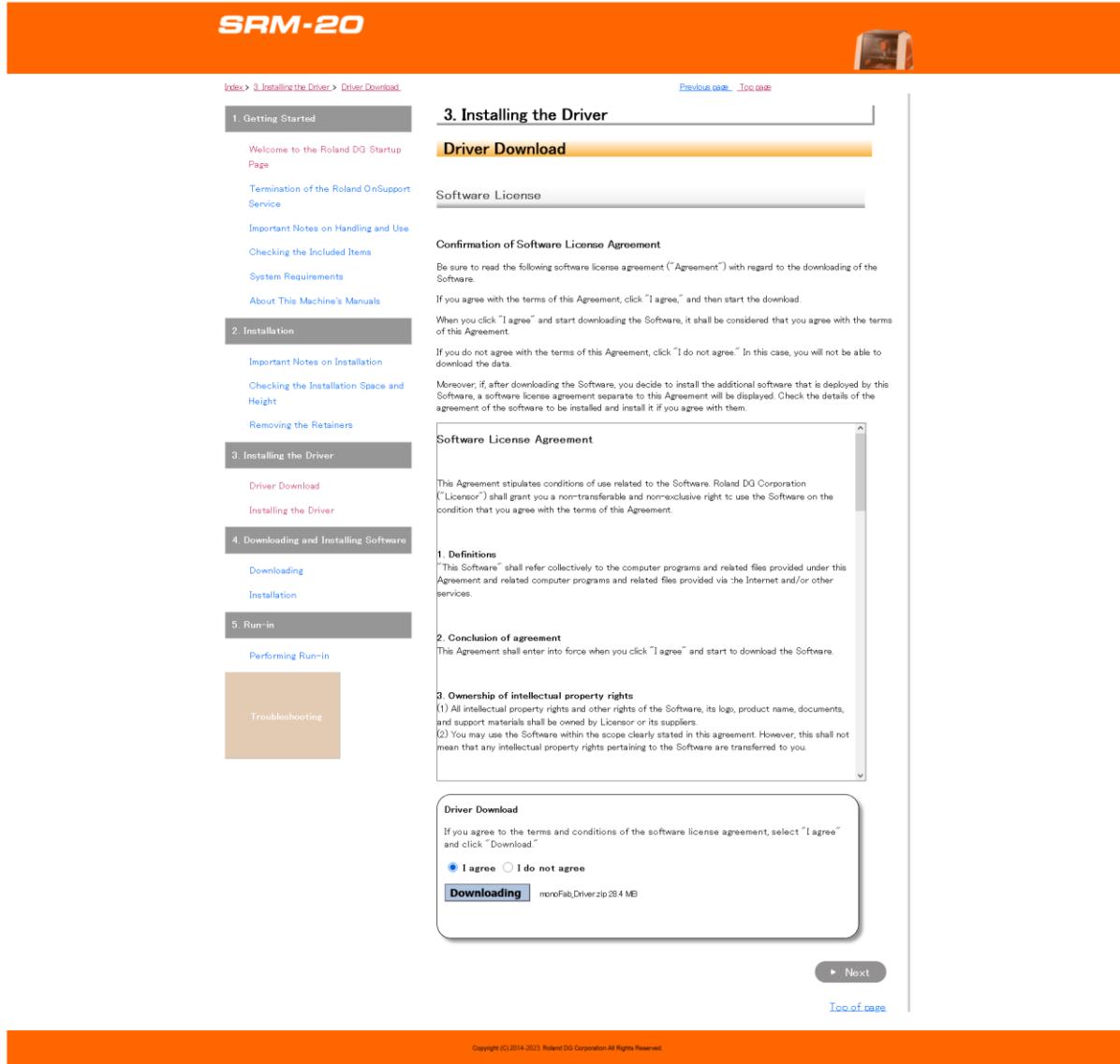
* Después de conectar la máquina al ordenador, comience a instalar el controlador. En el [Panel de control], haga clic en [Ver dispositivos e impresoras]. Cuando la máquina aparezca en "Impresoras", la instalación habrá finalizado. No desconecte el cable USB hasta que la instalación haya finalizado.

Procedimiento de Descarga del Controlador

Para poder utilizar VPanel, primero se debe descargar e instalar el controlador del SRM-20.

Para ello, ir al siguiente enlace: https://startup.rolanddg.com/monoFab/SRM-20/SRM-20_EN/sp-srm_dl-drv_on_en.html

Se abrirá la pestaña a continuación en el navegador:



Al bajar en la página, se observa una sección que dice [Driver Download]. Para poder acceder a la descarga, se debe presionar [*I agree*] y se habilitará el botón descarga [Downloading].

Driver Download

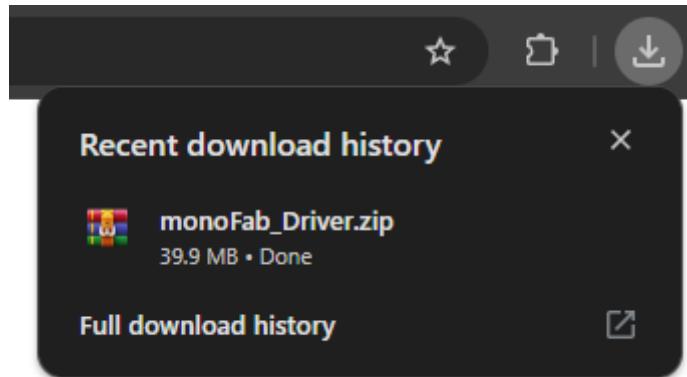
If you agree to the terms and conditions of the software license agreement, select "I agree" and click "Download."

I agree I do not agree

Downloading

monoFab_Driver.zip 28.4 MB

Luego de presionar [*Downloading*], la descarga se iniciará.



Procedimiento de Instalación del Controlador

1. Inicie sesión en Windows como "Administrador" o como administrador del equipo.

2. Descomprima el archivo descargado y abra la carpeta creada.

3. Abra la carpeta correspondiente a su sistema operativo.

Sistema Operativo	Nombre de Carpeta
Windows 11/10 (versión 64-bit)	WIN10X64
Windows 10 (versión 32-bit)	WIN10X86

* Si selecciona la carpeta incorrecta, no podrá instalar el controlador correctamente.

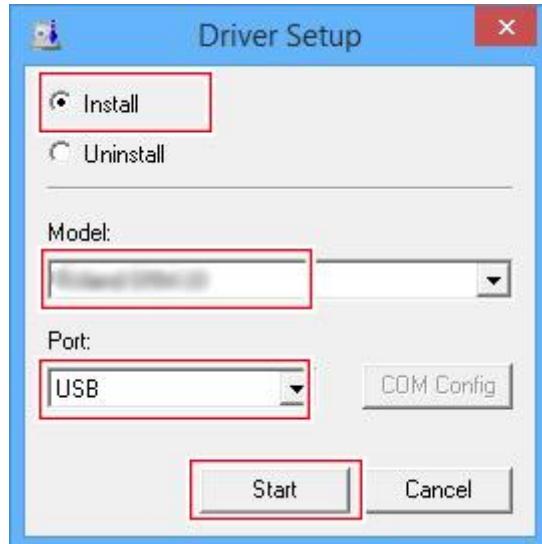
4. Haga doble clic en "SETUP64.exe" (versión de 64 bits) o "SETUP.exe" (versión de 32 bits) dentro de la carpeta.

* La extensión del nombre de archivo (.exe) podría estar oculta.

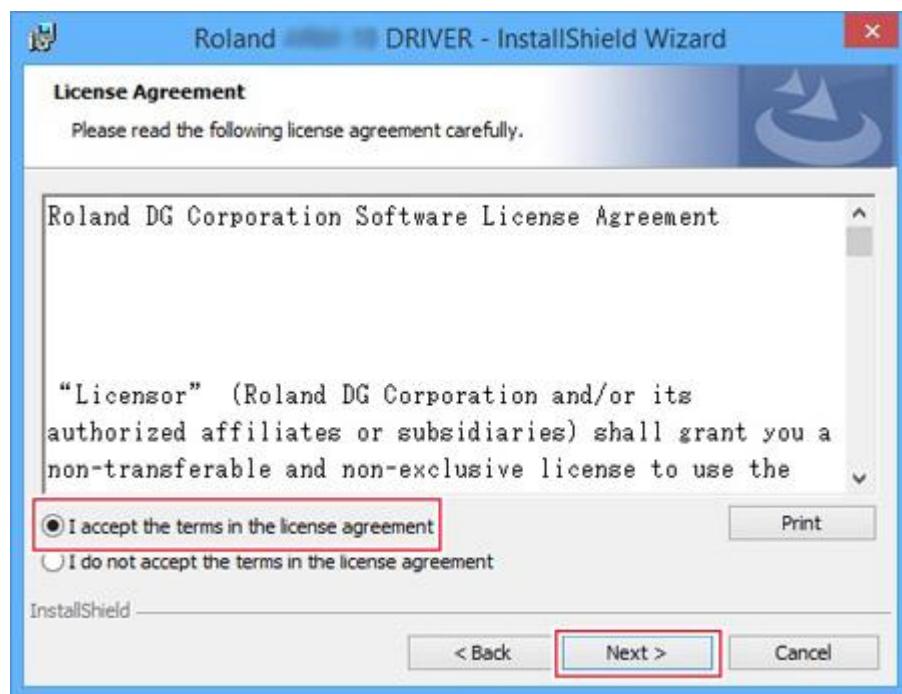
5. Si aparece la ventana "Control de cuentas de usuario" (*User Account Control*), haga clic en [Sí].

6. Haga clic en [Instalar], seleccione el "Modelo" (SRM-20) que desea instalar y el puerto [USB], y luego haga clic en [Iniciar].

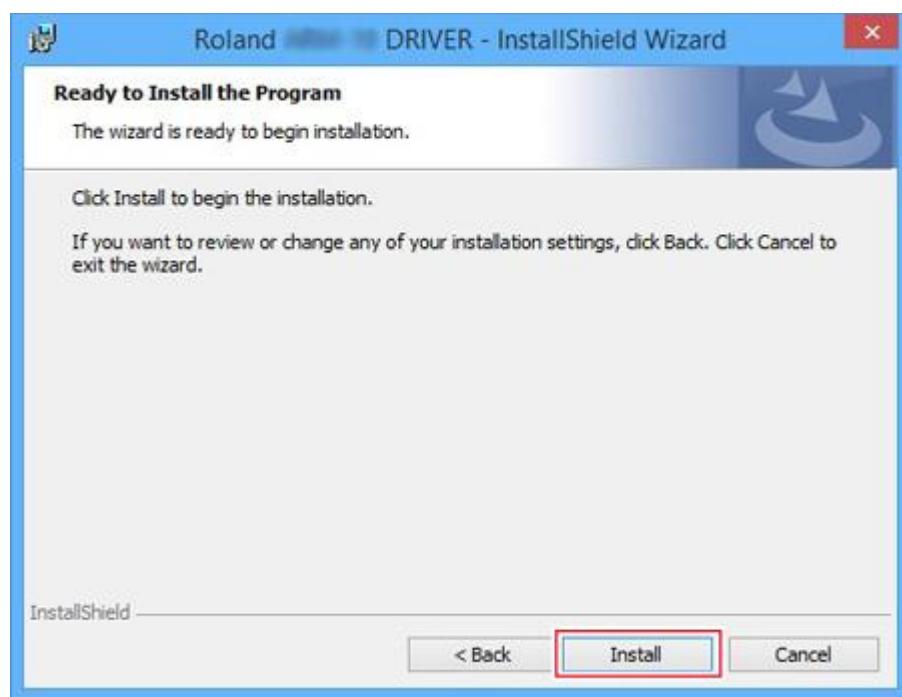
Comenzará la instalación del controlador. Siga las instrucciones en pantalla para continuar con la instalación.



7. Seleccione [Acepto los términos del acuerdo de licencia] (*I accept the terms in the license agreement*) y luego haga clic en [Siguiente] (Next).



8. Cuando aparezca la ventana que se muestra en la figura, haga clic en [Instalar].



9. Cuando aparezca la ventana de seguridad de Windows, haga clic en [Instalar].
10. Cuando aparezca la ventana que se muestra en la figura, haga clic en [Finalizar].

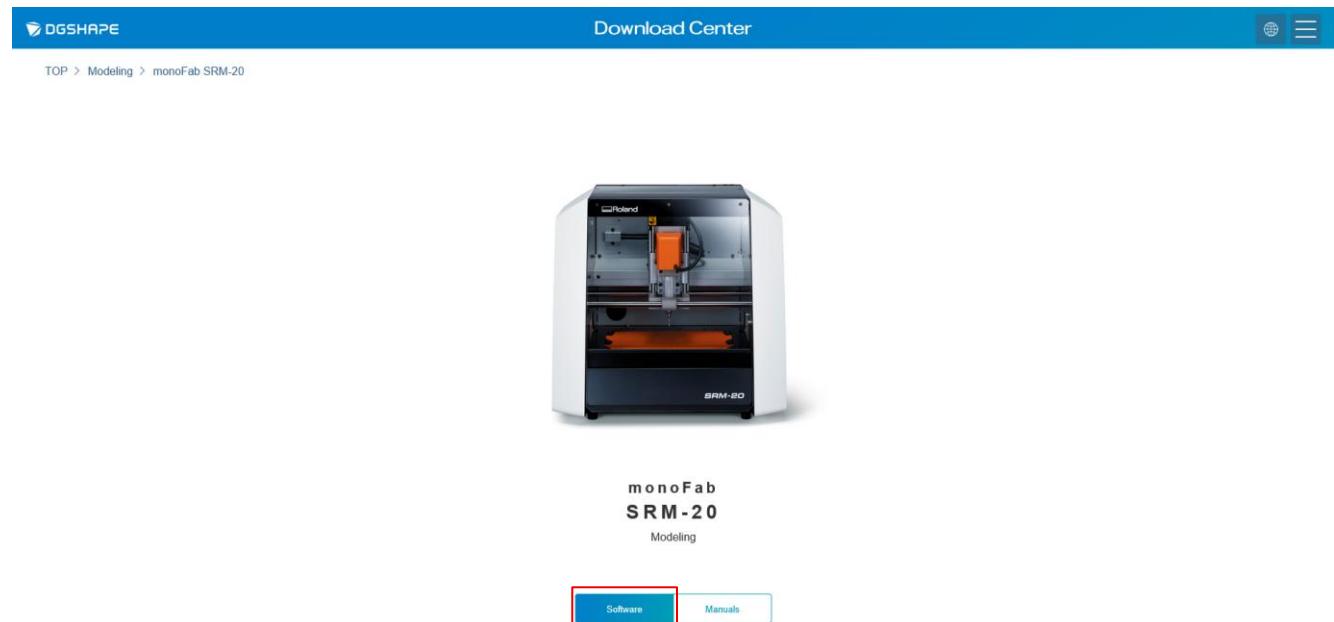


Procedimiento de Descarga de VPanel

1. Acceda a la página de esta máquina en el centro de descargas de Roland DG Corporation.

<https://downloadcenter.rolanddg.com/SRM-20>

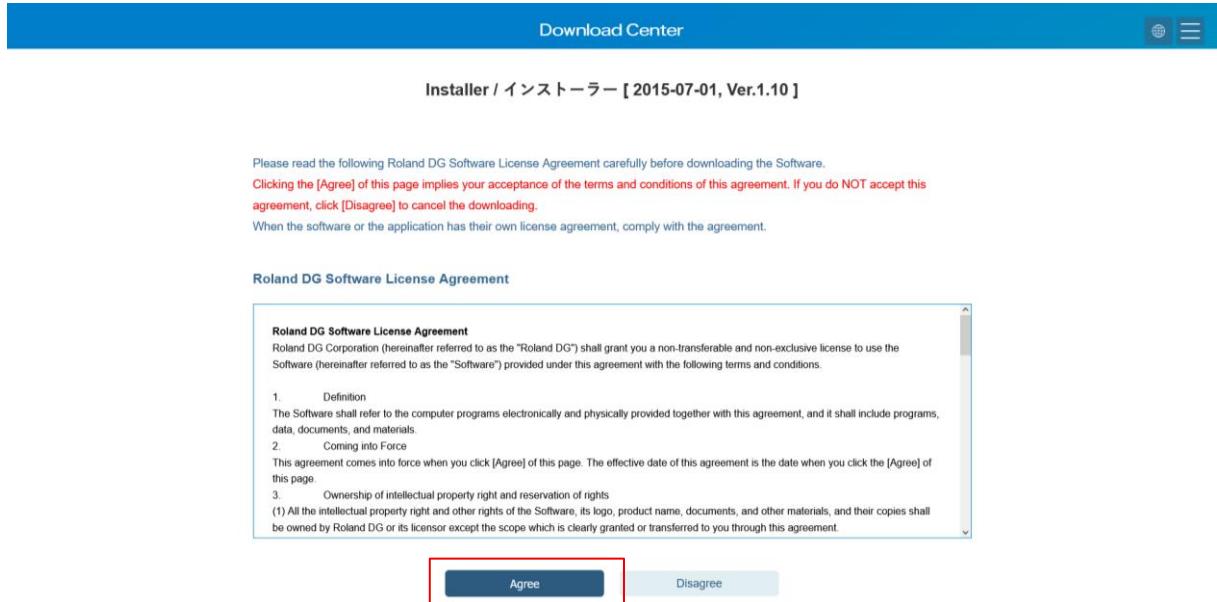
2. Haga clic en la pestaña [Software].



3. Descargue el siguiente programa.

VPanel for SRM-20	Este es el software dedicado para controlar esta máquina. Este software se utiliza para operarla y configurar diversos ajustes.
SFEdit2	▼
Virtual MODELA	▼
iModela Creator	▼
ClickMILL	▼
VPanel for SRM-20	^
Updater [Ver.1.10]	↙
Installer / インストーラー [2015-07-01, Ver.1.10]	↘
SRP Player	▼
MODELA Player 4	▼

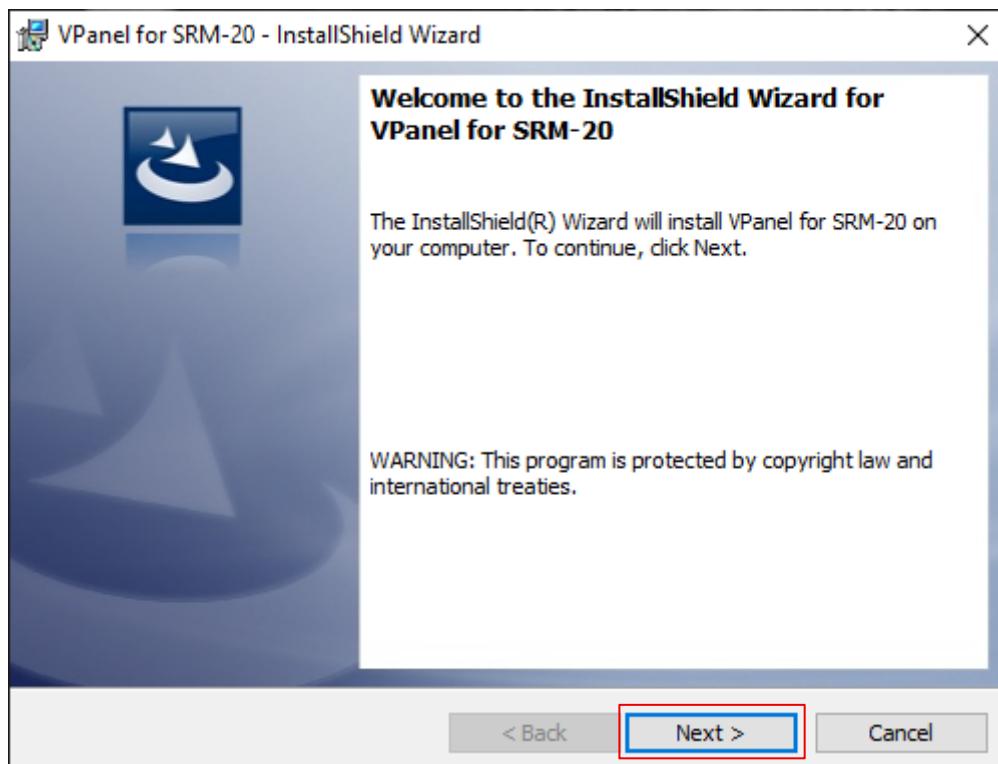
Luego, debe aceptar el acuerdo de licencia de software de Roland DG.



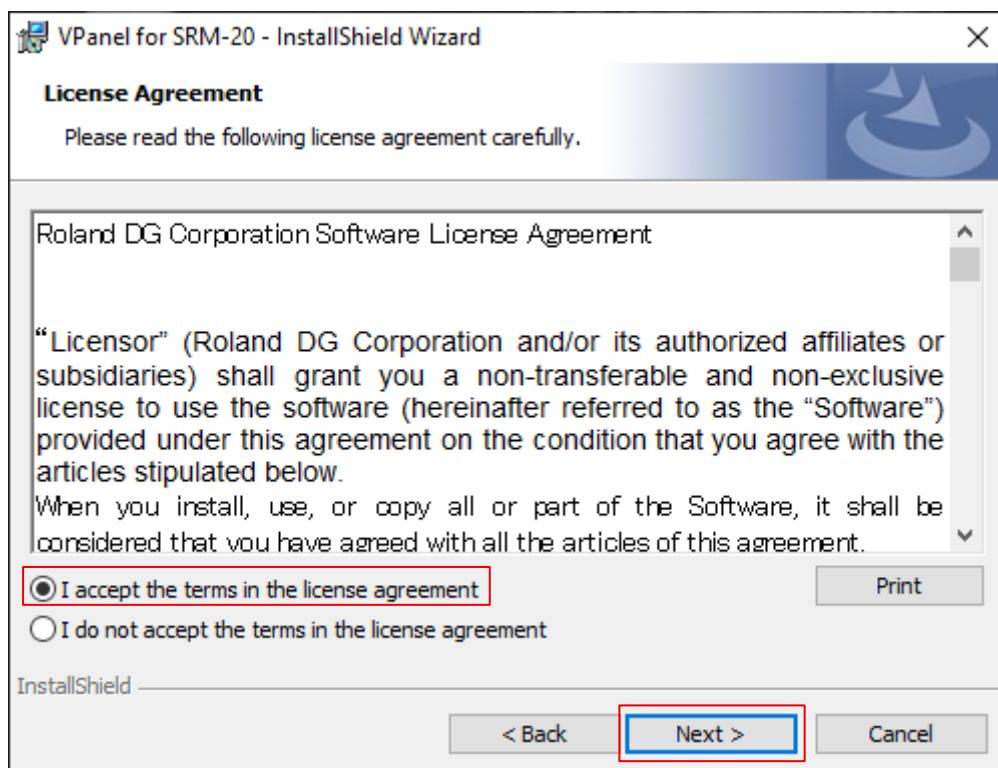
Una vez extraído el archivo VPanel-for-SRM-20_Installer.zip, prosiga al procedimiento de instalación de VPanel.

Procedimiento de Instalación de VPanel

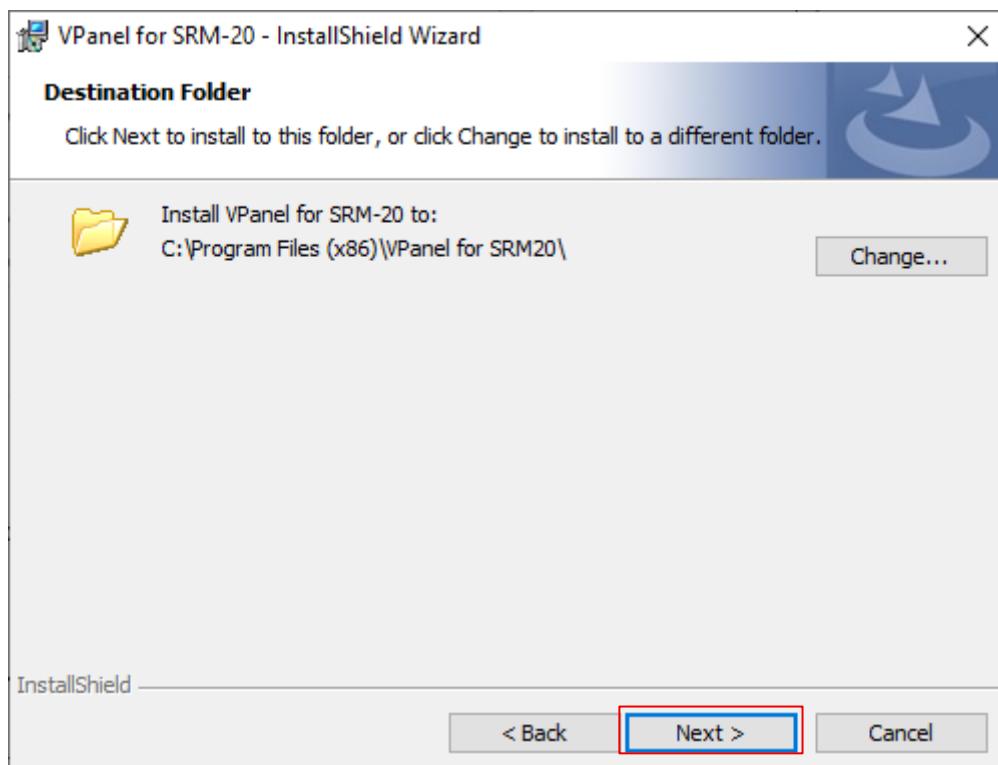
1. En la carpeta extraída, haga clic dos veces en Setup.exe
2. Haga clic en [Next] para continuar con la instalación



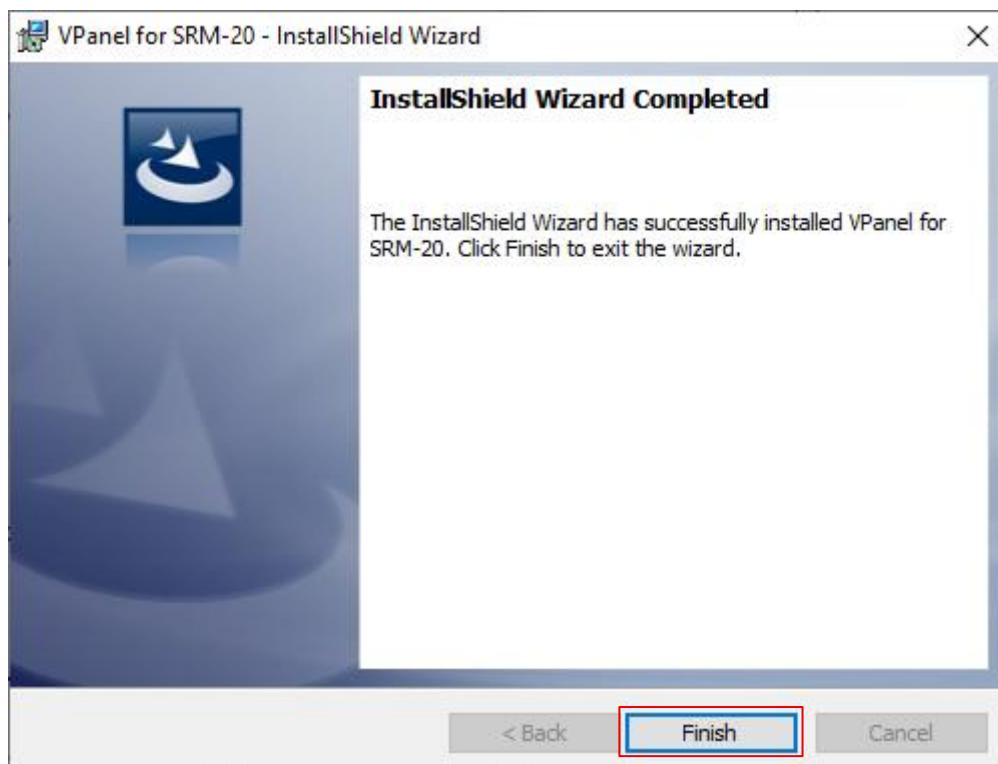
2. Acepte el acuerdo de licencia de software (*License Agreement*) y aprete [Next]



3. Cambie la carpeta de destino por defecto si lo desea y/o presione [Next]



4. Concluya la instalación apretando [Finish]



El uso y funcionamiento de VPanel se describen en detalle en secciones posteriores de este manual. Con esto, el proceso de instalación de VPanel está listo.

Instalación de Software Asociado a la Generación G-code (FlatCAM)

FlatCAM es una aplicación para preparar diseños de circuitos impresos para ser fabricados en una fresa/enrutador CNC. Entre otros, puede generar G-code para enrutamiento de aislamiento a partir de archivos Gerber generados en una aplicación de CAD (como Proteus, KiCad, Altium, etc.) para circuitos impresos.

Procedimiento de Descarga e Instalación de FlatCAM

1. Acceda a la página de GitHub para FlatCAM por Vika Sonne.

<https://github.com/vika-sonne/FlatCAM/releases>

The screenshot shows the GitHub release page for FlatCAM version v2024.4. The page includes the following sections:

- Windows portable:** This section contains instructions for Windows users, noting that Python 3.10 supports Windows 8.1 and newer. It lists four download links:
 - Download and install Microsoft Visual C++ Redistributable for Visual Studio 2019 x64
 - Download and install 7z archiver
 - Download and extract FlatCAM_2024_4_windows_portable.7z
 - Run FlatCAM in extracted folder: FlatCAM.bat
- Linux AppImage:** This section contains instructions for Linux users, noting that it is tested on Ubuntu 20.04, Kubuntu 22.04, OpenSUSE Leap 15.1, and OpenSUSE Leap 15.5. It lists one download link:
 - Download and run FlatCAM: flatcam-2024.4-x86_64.AppImage
- Python way:** This section contains instructions for Python users, noting that it is very unusual because of dependency hell. It lists five download links:
 - Install Python 3.10
 - Install Qt 5.15
 - Install Python packages:

```
python -m pip install --disable-pip-version-check --no-deps --ignore-installed -r requirements.txt
```
 - Download FlatCAM_2024_4.zip file and run FlatCAM:

```
python FlatCAM_2024_4.zip
```
- Assets:** This section lists the available assets for the release, including the AppImage, the zip archive, requirements.txt, source code (zip), and source code (tar.gz). The zip archive has a size of 3.02 MB and was uploaded on April 15, 2024.

Se utilizará la versión de FlatCAM para Windows, ya que el controlador y VPanel del SRM-20 solo son compatibles con ordenadores con el sistema operativo Windows de Microsoft.

Esta instalación contiene Python con paquetes instalados y binarios de Qt. Consulte [Python release notes](#) y [Qt Agreements](#) para más información.

Nota al lector: Python 3.10 es compatible con Windows 8.1 y versiones más recientes.

2. Vaya a [Microsoft Visual C++ Redistributable](#) para Visual Studio 2019 x64 y haga clic en *Latest supported Redistributable version*

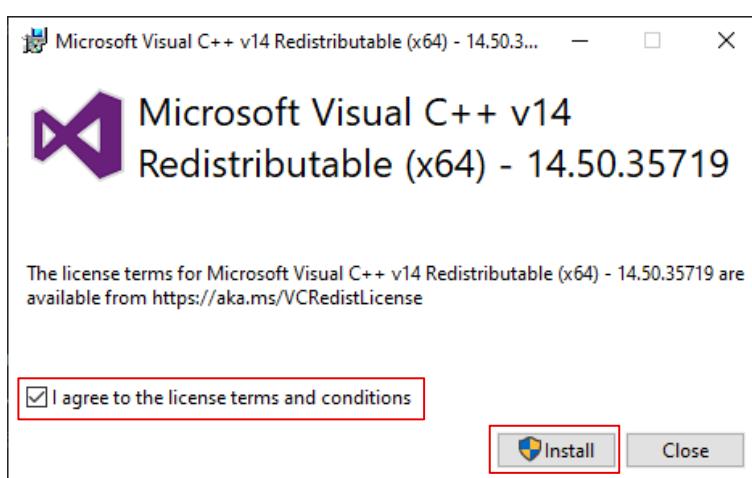
Version	Section
Latest supported v14 (for Visual Studio 2017–2026)	Latest supported Redistributable version
Visual Studio 2015	Visual Studio 2015 (VC++ 14.0)
Visual Studio 2013	Visual Studio 2013 (VC++ 12.0)
Visual Studio 2012	Visual Studio 2012 (VC++ 11.0)
Visual Studio 2010	Visual Studio 2010 (VC++ 10.0)
Visual Studio 2008	Visual Studio 2008 (VC++ 9.0)
Visual Studio 2005	Visual Studio 2005 (VC++ 8.0)

3. Presione el enlace que sea adecuado para su arquitectura (X86 o X64)

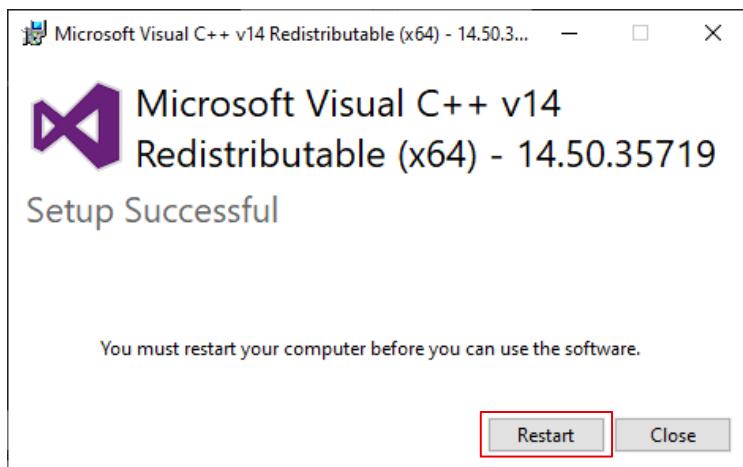
Architecture	Link	Notes
ARM64	https://aka.ms/vc14/vc_redist.arm64.exe	Permalink for latest supported ARM64 version
X86	https://aka.ms/vc14/vc_redist.x86.exe	Permalink for latest supported x86 version
X64	https://aka.ms/vc14/vc_redist.x64.exe	Permalink for latest supported x64 version. The X64 Redistributable package contains both ARM64 and X64 binaries. This package makes it easy to install required Visual C++ ARM64 binaries when the X64 Redistributable is installed on an ARM64 device.

4. Corra el archivo descargado (Por ejemplo, VC_redistx64.exe si su arquitectura es de 64-bit)

5. Acepte los términos y condiciones de licencia y presione [Install]



6. Al finalizar la instalación, deberá reiniciar su ordenador apretando [Restart].

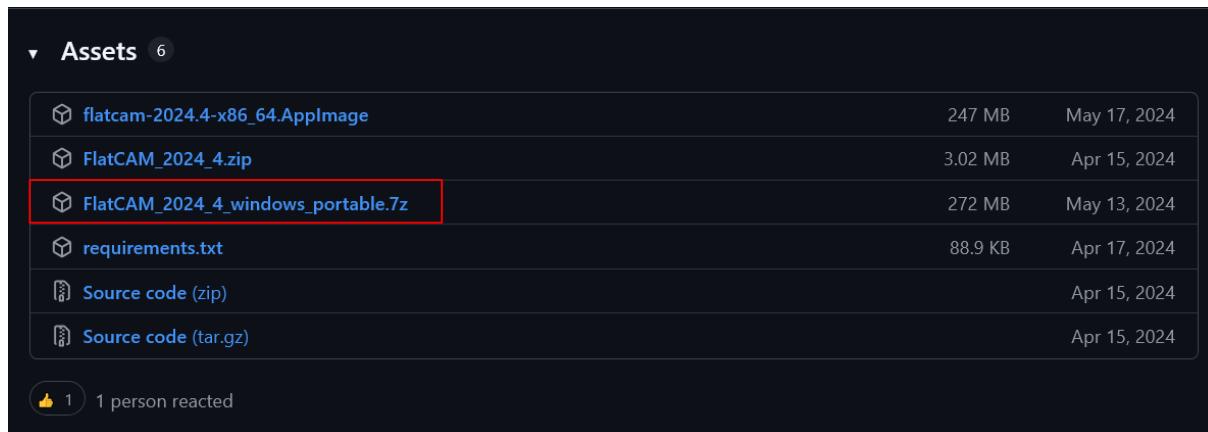


Luego de finalizar la instalación de Microsoft Visual C++ y haber reiniciado exitosamente su ordenador, prosegua con los siguientes pasos.

7. Descargue e instale [7z archiver](#) (64-bit o 32-bit dependiendo de arquitectura de su sistema). Si cuenta con WinRar u otro programa afín, salte este paso.

Link	Type	System	Description
Download	.exe	64-bit Windows x64	
Download	.exe	32-bit Windows x86	7-Zip installer for Windows
Download	.exe	64-bit Windows arm64	
Download	.msi	64-bit Windows x64	(alternative MSI installer) 7-Zip for 64-bit Windows x64
Download	.msi	32-bit Windows x86	(alternative MSI installer) 7-Zip for 32-bit Windows
Download	.7z	Windows x86 / x64	7-Zip Extra: standalone console version, 7z DLL, Plugin for Far Manager
Download	.tar.xz	64-bit Linux x86-64	
Download	.tar.xz	32-bit Linux x86	7-Zip for Linux: console version
Download	.tar.xz	64-bit Linux arm64	
Download	.tar.xz	32-bit Linux arm	
Download	.tar.xz	macOS (arm64 / x86-64)	7-Zip for MacOS: console version
Download	.7z	any / Windows	7-Zip Source code
Download	.tar.xz	any / Windows	7-Zip Source code
Download	.7z	any / Windows	LZMA SDK: (C, C++, C#, Java)
Download	.exe	Windows	7zr.exe (x86) : 7-Zip console executable

8. De vuelta en la página de [GitHub](#) de [Vika Sonne](#), descargue y extraiga [FlatCAM_2024_4_windows_portable.7z](#)

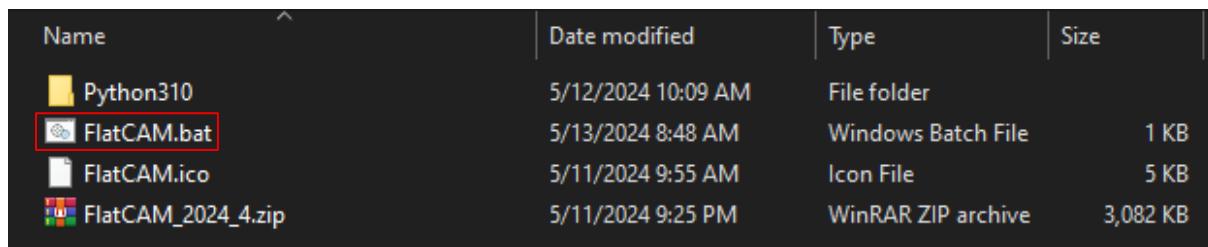


The screenshot shows the GitHub 'Assets' section for a repository. There are six items listed:

Name	Date modified	Size
flatcam-2024.4-x86_64.AppImage	May 17, 2024	247 MB
FlatCAM_2024_4.zip	Apr 15, 2024	3.02 MB
FlatCAM_2024_4_windows_portable.7z	May 13, 2024	272 MB
requirements.txt	Apr 17, 2024	88.9 KB
Source code (zip)	Apr 15, 2024	
Source code (tar.gz)	Apr 15, 2024	

Below the table, a message indicates '1 person reacted'.

9. Luego de descomprimir el archivo descargado, corra **FlatCAM** en la carpeta extraída: FlatCAM.bat



Name	Date modified	Type	Size
Python310	5/12/2024 10:09 AM	File folder	
FlatCAM.bat	5/13/2024 8:48 AM	Windows Batch File	1 KB
FlatCAM.ico	5/11/2024 9:55 AM	Icon File	5 KB
FlatCAM_2024_4.zip	5/11/2024 9:25 PM	WinRAR ZIP archive	3,082 KB

El uso y funcionamiento de FlatCAM se describen en detalle en secciones posteriores de este manual. Con esto, El proceso de instalación está listo.

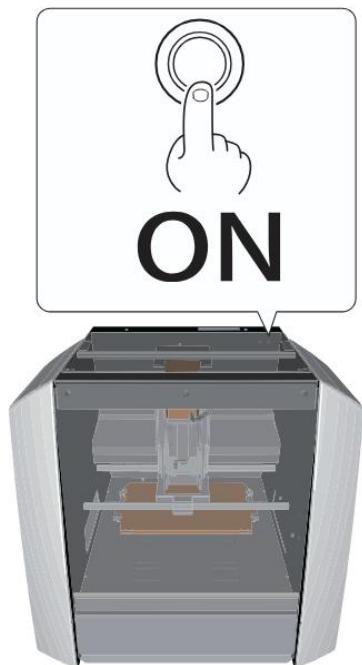
Utilización de VPanel

Luego de la instalación de VPanel y el controlador, se puede proceder con la utilización de este.

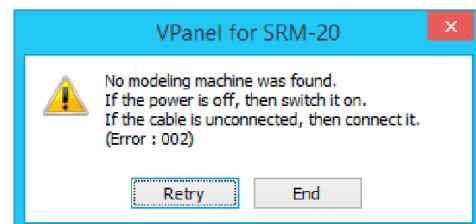
Para poder inicializar VPanel, en el SRM-20:

1. Cierre la tapa frontal
2. Presione el botón  (de poder)

El LED comienza a parpadear y permanece encendido después de que se completa la inicialización.



Si VPanel se inicia con el equipo apagado, se mostrará la siguiente ventana. Repita el paso 2 y presione [Retry] para iniciar VPanel.



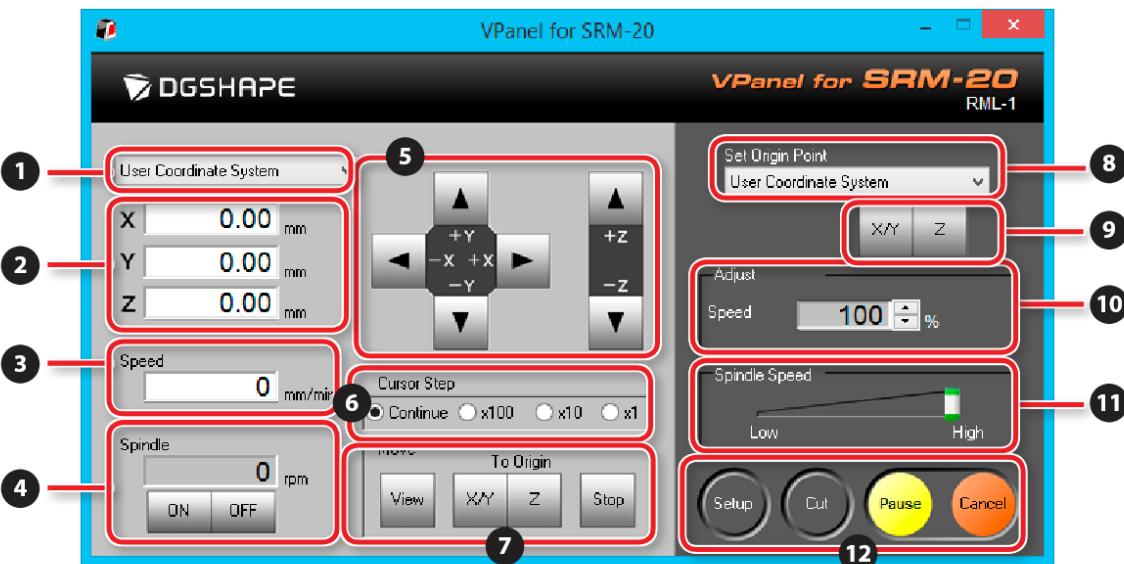
3. En su ordenador, abra el programa “VPanel”.

Aparecerá la ventana de *VPanel for SRM-20* al completar los pasos anteriores.



Funciones de la Pantalla Principal

La interfaz de *VPanel for SRM-20* se compone de los siguientes elementos:

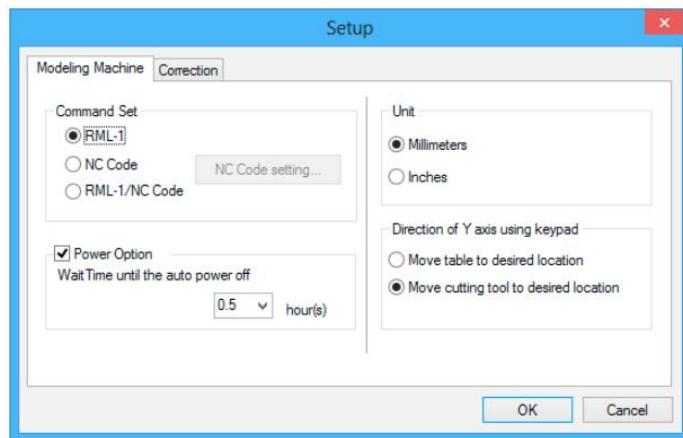


No.	Nombre	Función	No.	Nombre	Función
1	Coordinate system (Sistema de coordenadas)	<p>Selecciona el sistema de coordenadas para mostrar los valores de coordenadas.</p> <ul style="list-style-type: none"> Sistema de coordenadas del usuario: El origen se puede cambiar libremente. Sistema de coordenadas de la máquina: Sistema de coordenadas de la máquina fijo. G54-G59: Sistemas de coordenadas de la pieza en código NC. EXOFS: Sistema de coordenadas utilizado con código NC. 	4	Spindle (Husillo)	Activa [ON] o desactiva [OFF] la rotación del husillo. Muestra la velocidad de rotación del husillo durante el funcionamiento.
2	Coordinates (Coordenadas)	Muestra la posición actual de la herramienta de corte. Permite cambiar entre mm ⇔ pulgadas.	5	Feed buttons (Botones de avance)	Mueve el cabezal del husillo o la mesa. Mantener pulsados los botones realiza un movimiento continuo.
3	Speed (Velocidad)	Muestra la velocidad de movimiento de la herramienta de corte.	6	Cursor step (Incremento de desplazamiento)	Especifica la distancia que se mueve la herramienta de corte cada vez que se hace clic en el botón [X] / [Y] / [Z].

7	<i>Move (View)</i> (Mover (Ver))	Mueve el cabezal del husillo al centro y la mesa al frente (posición de vista). Se utiliza al cambiar la herramienta de corte o el material. ⚠ PRECAUCIÓN: Nunca mueva el husillo ni la mesa con la mano. Podría causar un mal funcionamiento.	11	<i>Spindle Speed</i> (Velocidad del husillo)	Ajusta la velocidad de rotación del husillo. Esta velocidad solo se puede especificar desde el VPanel.
7	<i>Move (X/Y-Z)</i> (Mover (X/Y-Z))	Mueve la herramienta de corte al origen XY o al origen Z.	12	<i>Set up</i> (Configuración)	Establece las condiciones de funcionamiento de la máquina y los valores de corrección del eje.
7	<i>Move (Stop)</i> (Mover (Parar))	Detiene la herramienta de corte inmediatamente mientras está en movimiento.		<i>Cut</i> (Corte)	Configura los ajustes de corte
8	<i>Set Origin Point</i> (Establecer punto de origen)	Selecciona el sistema de coordenadas para establecer el punto de origen.		<i>Pause</i> (Pausa)	Pausa y reanuda el corte.
9	X/Y – Z	Establece la posición XY o Z actual como punto base.		<i>Cancel</i> (Cancelar)	Cancela la operación de corte.
10	<i>Adjust</i> (Ajustar)	Ajusta la velocidad de avance de corte (<i>override</i>).			

Diálogo de Configuración (*Setup*)

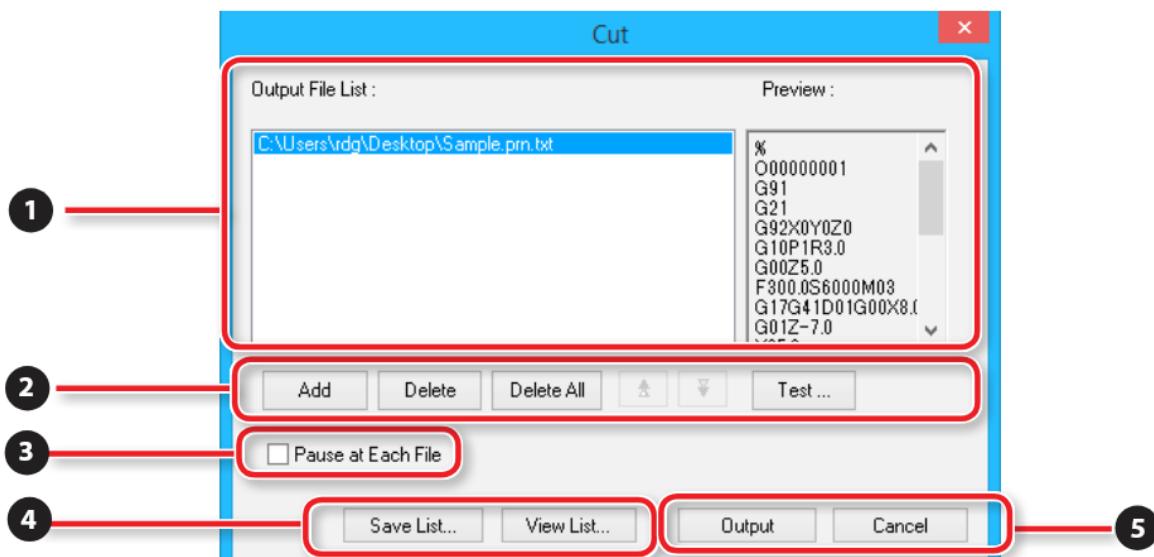
Este diálogo aparece cuando [*Setup*] se es cliqueado en el VPanel.



Display	Función	Opciones / Descripción	Configuración inicial
Command Set (Conjunto de Comandos)	Selecciona el modo de comandos apropiado según el software a utilizar.	[RML-1]: Usar con el software incluido con la máquina. [NC Code]: Usar cuando se trabajará con códigos NC (G-code). [RML-1/NC Code]: Permite recibir programas de corte en formato RML-1 o NC Code.	RML-1
Power Option (Opción de Energía)	Configura el apagado automático de la máquina (auto power-off).	Permite deshabilitar el apagado automático o activarlo para que la máquina se apague automáticamente entre 0,5 y 24 horas de inactividad.	0,5 horas
Unit (Unidad)	Selecciona la unidad de visualización del sistema de coordenadas.	Milímetros o Pulgadas. Al seleccionar pulgadas, los valores en milímetros se convierten automáticamente para su visualización.	Milímetros
Direction of Y axis using keypad (Dirección del eje Y mediante el teclado)	Define la dirección de movimiento del eje Y al utilizar los botones de avance.	En la configuración de fábrica, el movimiento del eje Y corresponde al movimiento de la herramienta respecto a la pieza, lo que provoca que la mesa se mueva en sentido opuesto a la flecha indicada.	Mover la herramienta de corte a la posición deseada

Diálogo de Corte (Cut)

Este diálogo aparece cuando [Cut] se es cliqueado en el VPanel.



Nº	Display / Botón	Función
1	Output File List (Lista de archivos de salida)	Muestra los archivos de salida en el orden en que serán enviados a la máquina. Preview (Previsualizar): Permite previsualizar el archivo seleccionado.
2	Add (Añadir)	Agrega un archivo a la Output File List (Lista de archivos de salida). Delete (Eliminar): Elimina el archivo seleccionado de la lista. Delete All (Eliminar Todo): Elimina todos los archivos de la lista. ↑ / ↓: Mueve el archivo seleccionado una posición hacia adelante o hacia atrás dentro del orden de salida. Test (Probar): Si el archivo de datos de corte está escrito en NC Code, permite probar la salida del archivo para verificar la existencia de errores (bugs).
3	Pause at Each File (Pausar en Cada Archivo)	Al activar esta opción, la salida se pausa automáticamente después de que se envía cada archivo.
4	Save List / View List (Guardar Lista / Ver Lista)	Save List (Guardar Lista): Guarda la lista de archivos de salida y su orden en un archivo. View List (Ver Lista): Abre una lista previamente guardada con la opción Save List .
5	Output / Cancel (Salida / Cancelar)	Output (Salida): Envía los archivos de la lista a la máquina en el orden establecido, comenzando desde el primer archivo. El cuadro de diálogo se cierra al iniciar la salida. Cancel (Cancelar): Cancela la edición realizada en el cuadro de diálogo [Cut] y cierra la ventana.

Mensajes de Error en VPanel

Mensaje	Respuesta / Acción recomendada
No modeling machine was found (No se encontró ninguna máquina de modelado)	<ul style="list-style-type: none">•Si la alimentación está apagada, enciéndala.•Si el cable no está conectado, conéctelo.•Verifique la conexión del cable USB.•Luego de encender la máquina y conectar el cable, presione [Retry].
The modeling machine is not responding (La máquina de modelado no responde)	<ul style="list-style-type: none">•Asegúrese de que el cable de conexión esté firmemente conectado y que la máquina esté encendida.•Verifique la conexión del cable USB.•Luego de encender la máquina y conectar el cable, presione [Retry].
The SRM-20 has performed an emergency stop (El SRM-20 ha realizado una parada de emergencia) <ul style="list-style-type: none">•X-Limit switch not found (Interruptor de límite X no encontrado)•Y-Limit switch not found (Interruptor de límite Y no encontrado)•Z-Limit switch not found (Interruptor de límite Z no encontrado)•NVRAM could not be accessed (No se pudo acceder a la NVRAM)	<ul style="list-style-type: none">•Apague la máquina y vuelva a encenderla.•Si el problema persiste, puede tratarse de una falla interna.•Apague la máquina y contacte al distribuidor autorizado de Roland DG Corporation donde adquirió el equipo.
The SRM-20 is paused (El SRM-20 está en pausa) <ul style="list-style-type: none">•La tapa se abrió durante el funcionamiento	<ul style="list-style-type: none">•La operación no puede continuar.•Para reanudar el corte, cierre la cubierta frontal y haga clic en [RESUME].•Para detener el corte, haga clic en [STOP].
The SRM-20 is paused (El SRM-20 está en pausa) <ul style="list-style-type: none">•Command Error (Error de Comando)	<ul style="list-style-type: none">•Puede ignorar el mensaje y continuar, pero esto puede causar un funcionamiento no deseado.•Se recomienda detener el corte.•Si el comando no coincide con el conjunto de comandos de la máquina, seleccione el conjunto correcto.

Utilización de FlatCAM

Nota al lector: Esta sección describe en detalle cada parámetro relevante de FlatCAM para el fresado PCB. Para una visión resumida del proceso completo, consulte la sección “Flujo Completo de Trabajo”.

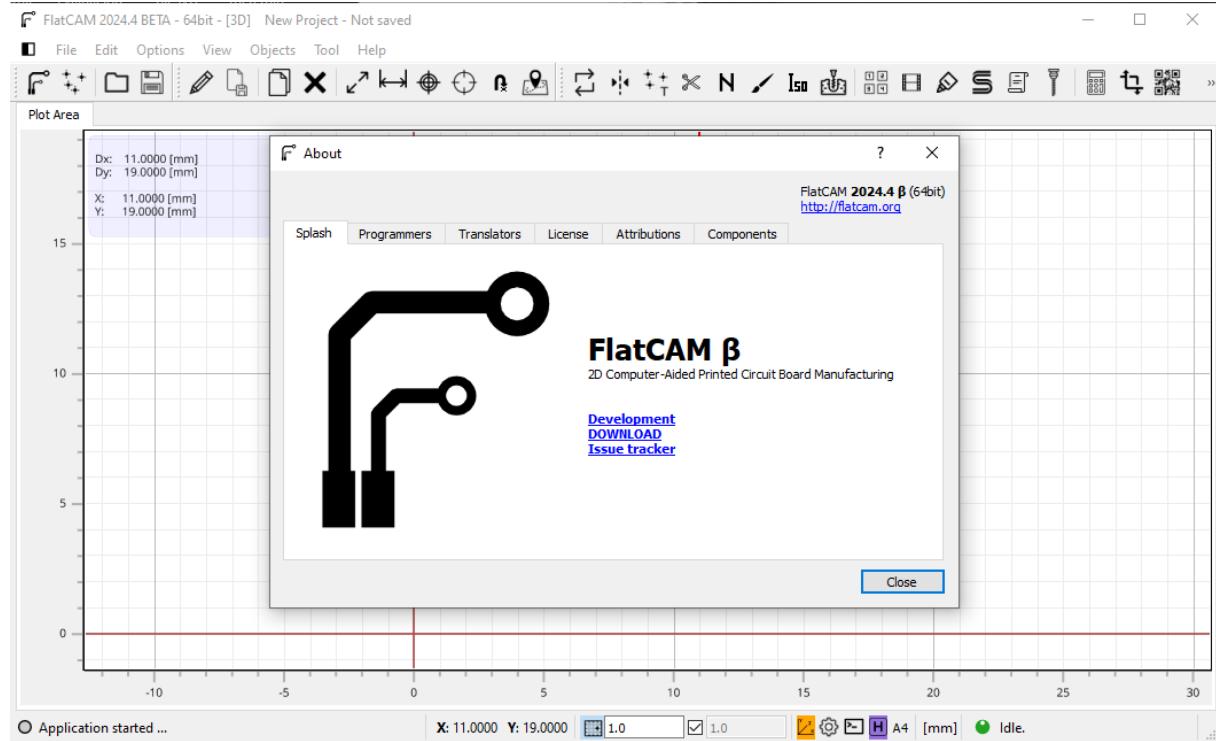


Figura 5 Interfaz principal de FlatCAM, pantalla “about”. Fuente: elaboración propia, Javier Salas Bocaz

En FlatCAM el flujo general es:

1. Importar Gerber / Excellon
2. Definir origen
3. (Opcional) Aplicar espejo
4. Generar aislamiento
5. Generar perforado
6. Generar corte de contorno
7. Exportar G-code

Conceptos Básicos

Archivos fuente soportados:

- Gerber: Comúnmente describe las capas de cobre en un circuito impreso.
- Excellon: Contiene información de las perforaciones, tamaños y coordenadas.
- G-code: Instrucciones de corte y perforación para la máquina CNC.

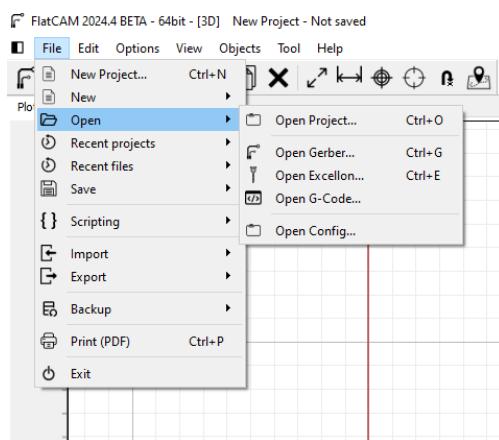
Estos archivos fuente pueden ser cargados seleccionando:

File→Open Gerber... (Archivo→Abrir Gerber...)

File→Open Excellon... (Archivo→Abrir Excellon...)

File→Open G-Code... (Archivo→Abrir G-Code...)

Respectivamente.



Los objetos creados a partir de estos archivos fuente son agregados automáticamente al proyecto actual.

Existen 4 tipos de datos u objetos en FlatCAM: Gerber, Excellon, Geometry (Geometría) y CNC Job (Trabajo CNC). Los objetos Gerber, Excellon y CNC Job se crean directamente a partir de archivos Gerber, Excellon o G-Code. Los objetos Geometry existen como etapa intermedia para manipular datos. Estos pueden ser creados como producto de distintas operaciones.

Breve Introducción a los Archivos Gerber y Excellon

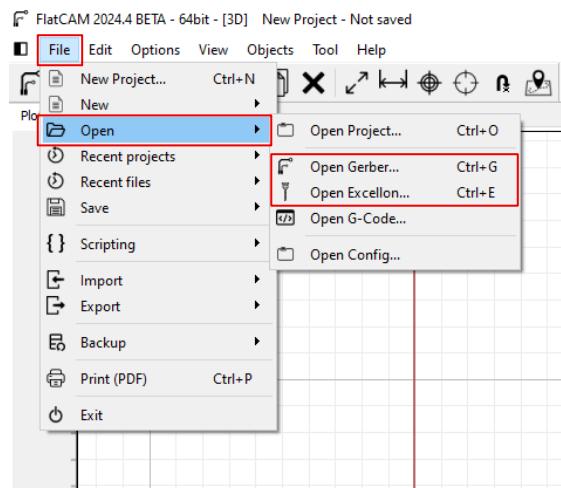
Los archivos Gerber y Excellon son formatos estándar utilizados en la fabricación de placas de circuito impreso (PCB). Su función principal es describir de manera precisa la geometría y las características físicas del circuito para que puedan ser interpretadas por máquinas de fabricación, como equipos de fresado CNC o procesos industriales de producción de PCBs.

Los archivos Gerber contienen la información gráfica de las distintas capas del PCB. En ellos se define la forma y posición de las pistas de cobre, pads, planos, textos y contornos, dependiendo de la capa que representen. Cada archivo Gerber corresponde generalmente a una capa específica, como la capa de cobre superior, cobre inferior o serigrafía. En el contexto del fresado CNC de PCBs, los Gerber se utilizan principalmente para generar las trayectorias de aislamiento que separan las pistas de cobre entre sí y el corte de contorno de la placa para separarla del resto del sustrato.

Por otro lado, los archivos Excellon se utilizan para definir las operaciones de perforado. Estos archivos contienen la posición exacta y el diámetro de los agujeros que deben realizarse en la placa, como los orificios para componentes, vías o tornillos de montaje. A diferencia de los Gerber, los Excellon no describen áreas ni formas continuas, sino coordenadas puntuales asociadas a herramientas de perforación específicas.

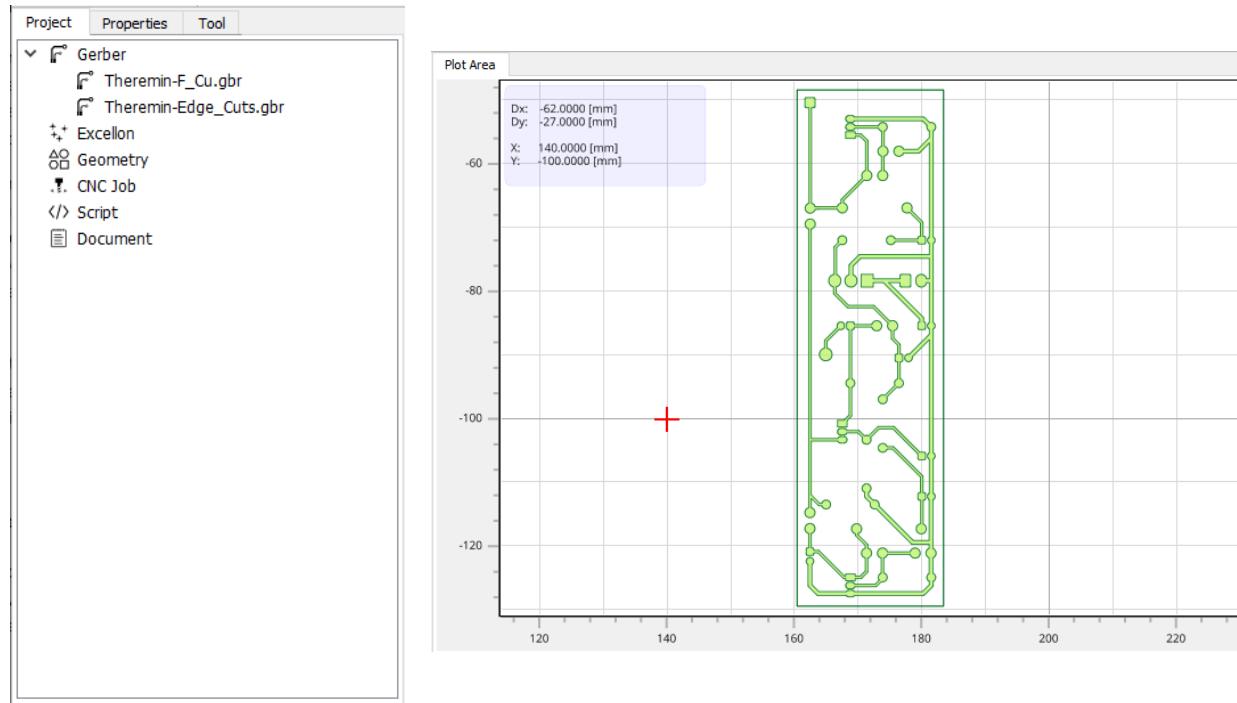
Abriendo Archivos Gerber y Excellon en FlatCAM

Como se describió en la sección de Conceptos Básicos de este mismo capítulo, para abrir archivos Gerber o Excellon, desde la pantalla inicial, se debe hacer clic en la parte superior izquierda de la interfaz en [File] (Archivo)



1. File→Open Gerber... (Archivo→Abrir Gerber...) o hacer clic en

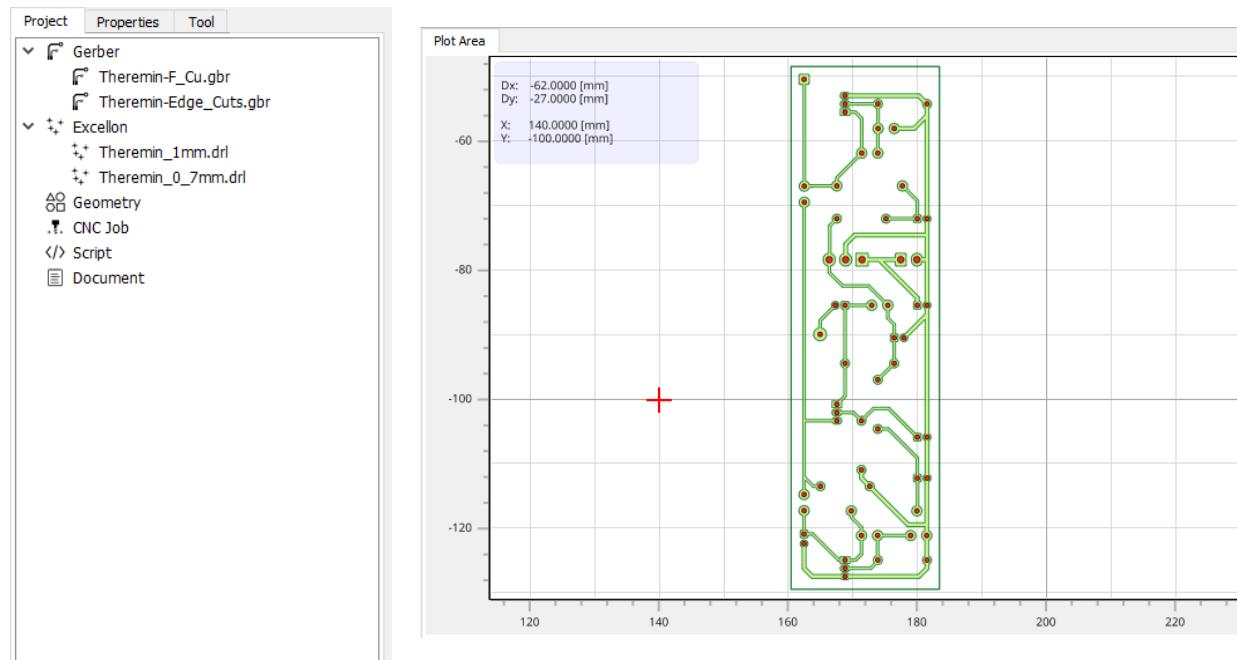
Si los archivos se han generado con KiCad, se deben abrir dos archivos Gerber: uno de cobre frontal (*Front Copper*) y otro de contornos de placa (*Edge Cuts*).



2. File→Open Excellon... (Archivo→Abrir Excellon...) o hacer clic en

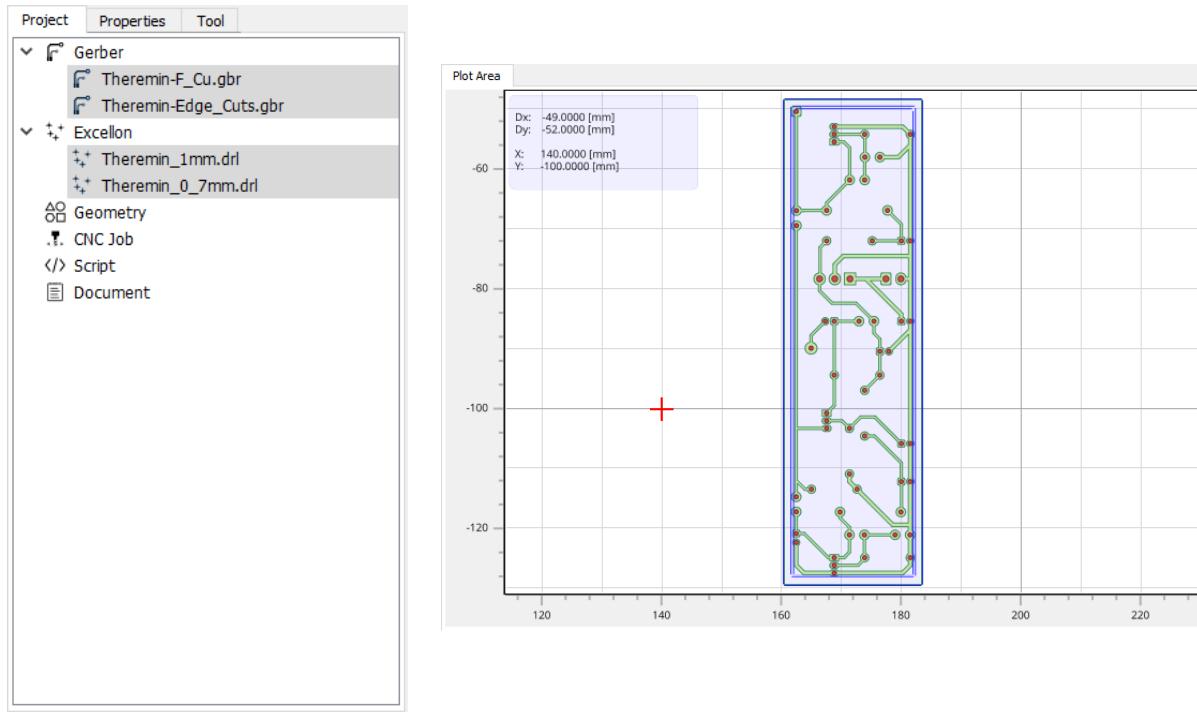
Si los archivos Excellon han sido generados mediante KiCad, se deben abrir los archivos Excellon correspondientes a los drills definidos. Los archivos PTH (*Plated Through Hole*) corresponden a los agujeros para los componentes THT (*Through-Hole Technology*), es decir, aquellos componentes que pasan a través de la placa. Por otro lado, los archivos NPTH (*Non-Plated Through Hole*) se utilizan para agujeros de mecanizado, como los destinados a tornillos, fijaciones u otros usos.

En este ejemplo, se emplean archivos Excellon separados por tipo de diámetro para facilitar y simplificar el proceso de perforado.



Definición del Origen

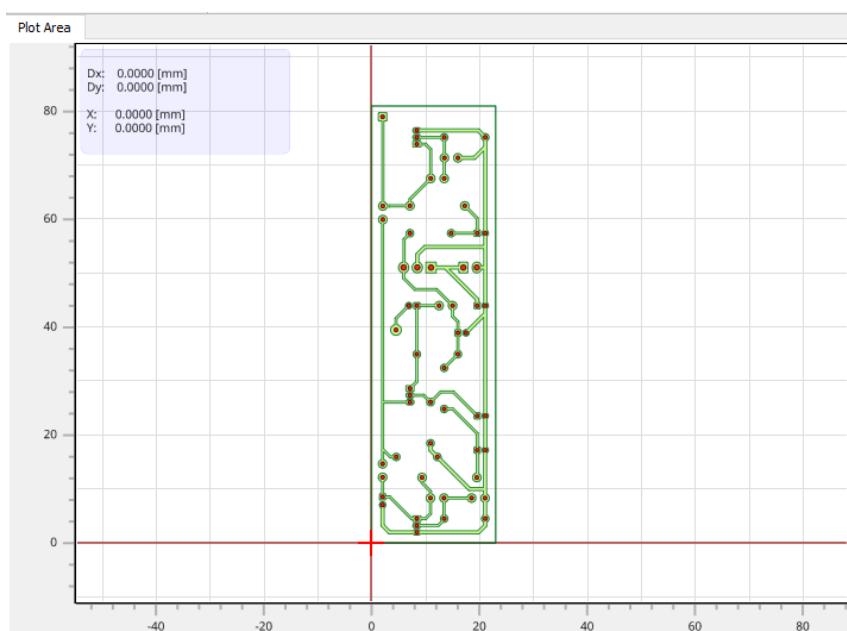
Para definir el origen, se deben seleccionar las figuras generadas por los archivos Gerber y Excellon abiertos. Esto se puede hacer desde el menú lateral izquierdo o utilizando el ratón: haciendo clic fuera de las figuras, manteniendo presionado y arrastrando para seleccionarlas.



Luego, se presiona el botón de “Move to Origin” (Mover al Origen).



Esto resultará en que la figura seleccionada se mueva al origen correctamente.

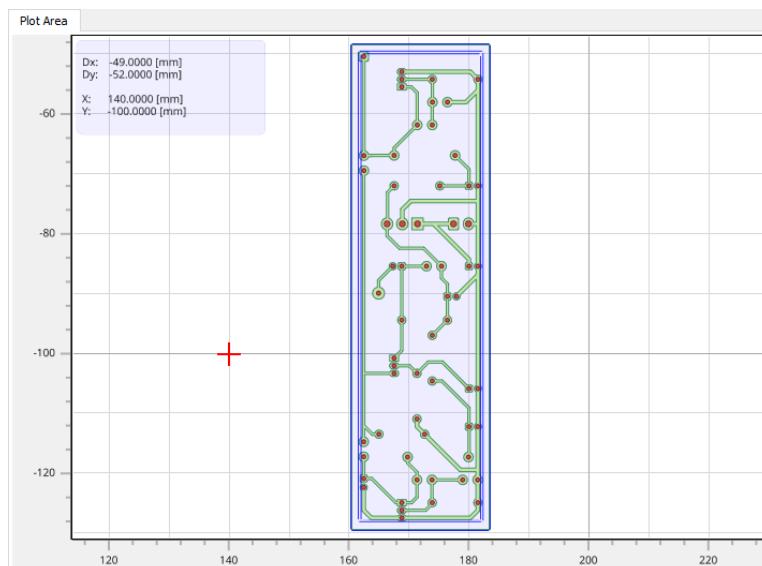


Modo Espejo

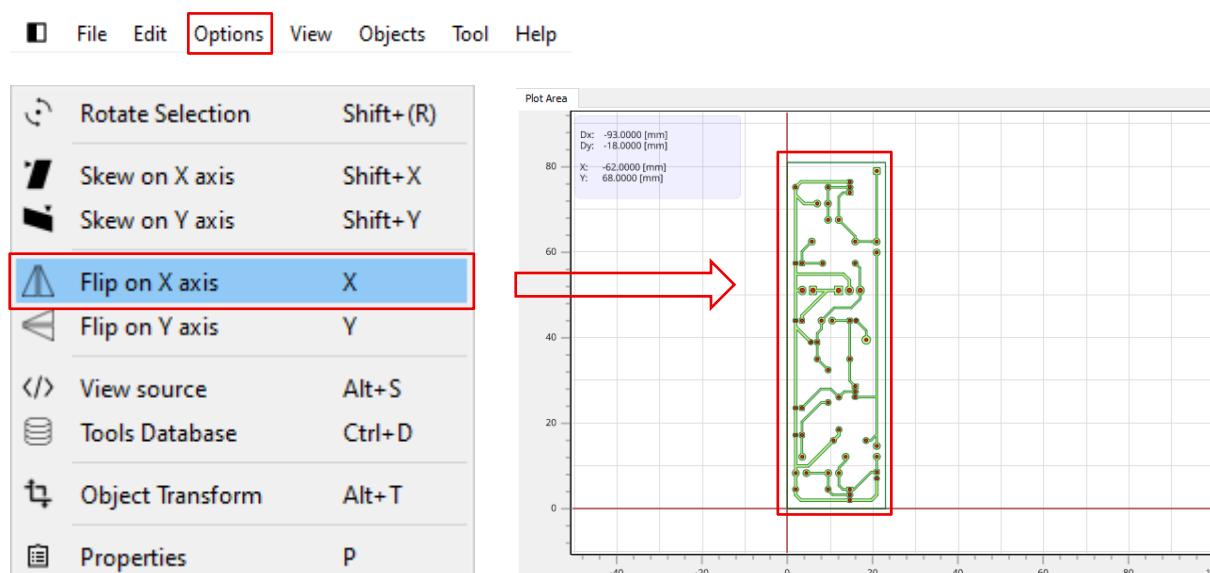
Nota al lector: Evalué cuidadosamente si su placa necesita ser volteada antes de continuar, ya que realizarlo innecesariamente puede provocar pérdida de tiempo de máquina y desperdicio de placas durante el fresado.

En el caso de necesitar que los componentes THT queden en el lado opuesto de la cara donde se realizará la soldadura, es necesario aplicar un ‘*mirror*’ en el eje X de la placa, para cumplir con este requisito. Esto refleja la placa como si estuviera “dada vuelta” frente al observador, simulando un volteo físico de la misma.

Seleccione el objeto que desea voltear.



Vaya al menú superior y presione [Options] (Opciones), un menú se desplegará y deberá seleccionar [Flip on X axis].

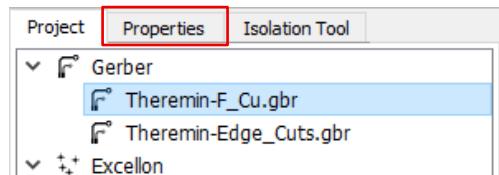


Esto resultará en que la placa seleccionada se volteee en el eje X.

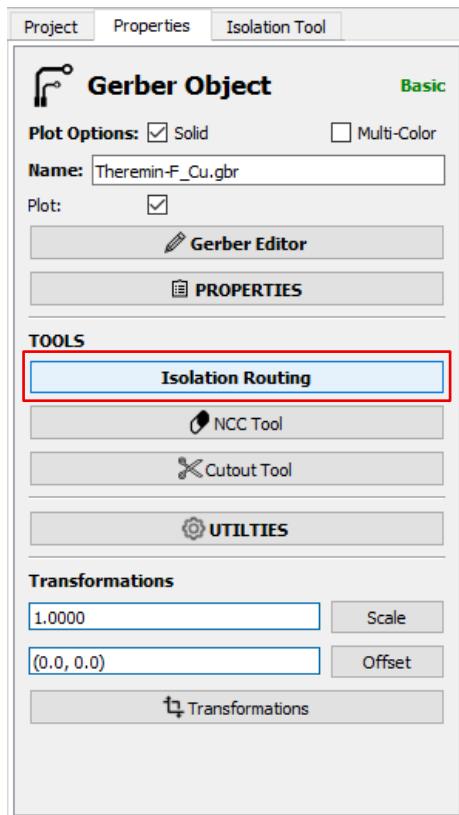
Isolation Routing (Trayectoria de Aislamiento)

El *Isolation Routing* o trayectoria de aislamiento es la operación de cortar el cobre alrededor de las pistas para lograr aislamiento eléctrico. Este proceso aplica únicamente a los archivos Gerber.

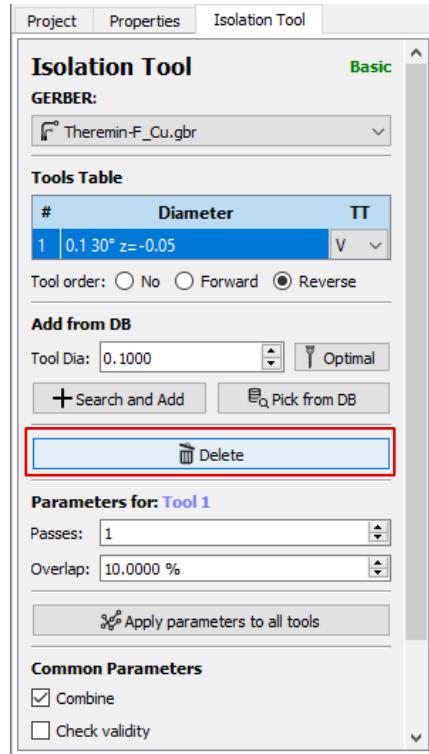
Se puede acceder al menú de ‘Enrutamiento de Aislamiento’ haciendo doble clic sobre el archivo Gerber deseado, o seleccionando el archivo y luego accediendo al menú [Properties] (Propiedades), que se encuentra junto a [Project] (Proyecto).



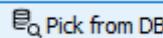
A continuación, se presiona el botón [Isolation Routing].



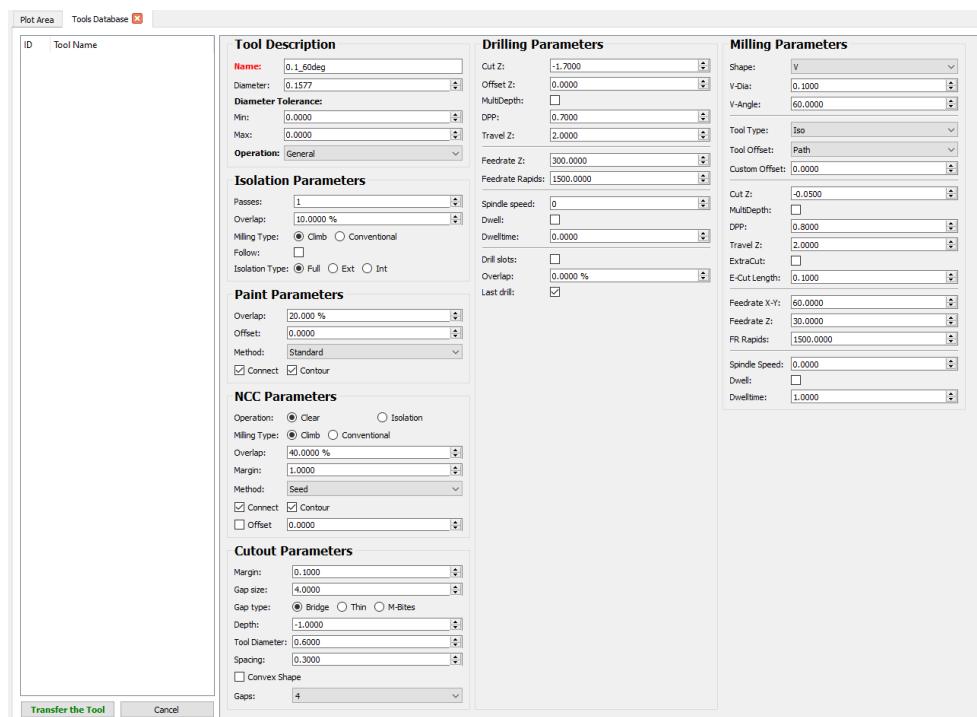
En el menú “*Isolation Tool*”, se debe eliminar la herramienta creada por defecto, ya que configuraremos una nueva herramienta de fresado con los valores nominales correspondientes.



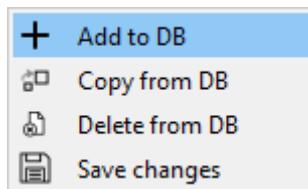
Luego de eliminar la herramienta, presione [Pick from DB].



Este botón abrirá un menú nuevo.



En el cuadrado blanco, debajo de “ID” y “Tool Name”, haga clic derecho. Se desplegará un menú, presione [Add to DB].



Esto creará una nueva herramienta. A la derecha de la ventana, nos enfocamos en la sección de *Milling Parameters* (Parametros de Mecanizado).

Milling Parameters	
Shape:	C1
V-Dia:	0.1000
V-Angle:	30.0000
Tool Type:	Rough
Tool Offset:	Path
Custom Offset:	0.0000
Cut Z:	-2.4000
MultiDepth:	<input type="checkbox"/>
DPP:	0.8000
Travel Z:	2.0000
ExtraCut:	<input type="checkbox"/>
E-Cut Length:	0.1000
Feedrate X-Y:	120.0000
Feedrate Z:	60.0000
FR Rapids:	1500.0000
Spindle Speed:	0.0000
Dwell:	<input type="checkbox"/>
Dwelltime:	1.0000

Nos concentraremos en los parámetros relevantes:

Shape: Tipo de geometría o forma de la herramienta.

V-Dia: Diámetro de la herramienta en la punta de corte.

V-Angle: Ángulo de la herramienta cónica (V-bit), crucial para calcular el ancho de pista.

Cut Z: La profundidad final de corte en el eje Z.

Feedrate X-Y: Avance de mesa (v_f) en los ejes horizontales.

Consulte la sección [Fresas Cónicas \(V-bit\)](#)

Feedrate Z: Avance en el eje Z (v_{fZ}). Consulte la sección [Fresas Cónicas \(V-bit\)](#)

Dependiendo de la precisión requerida en el fresado, se pueden utilizar fresas cónicas (V-bit) de distintos ángulos.

Valores de ejemplo a implementar:

- fresa cónica de 0,1 mm de diámetro y 60°.
- placa FR-4 estándar de 1,6 mm de espesor y 0,035 mm de espesor de cobre (1 oz/ft²).

Estos valores se utilizarán a lo largo del capítulo.

Ecuaciones relevantes. Consultar la sección [Fresas Cónicas \(V-bit\)](#)

$$v_f = (0,01D \text{ a } 0,07D)mm \times 8000RPM$$

$$v_{fZ} \approx 0,25v_f \text{ a } 0,5v_f$$

Donde:

- D = Diámetro efectivo de la herramienta
- v_f = Feedrate X-Y (Avance de mesa)
- v_{fZ} = Feedrate Z (Avance Z)

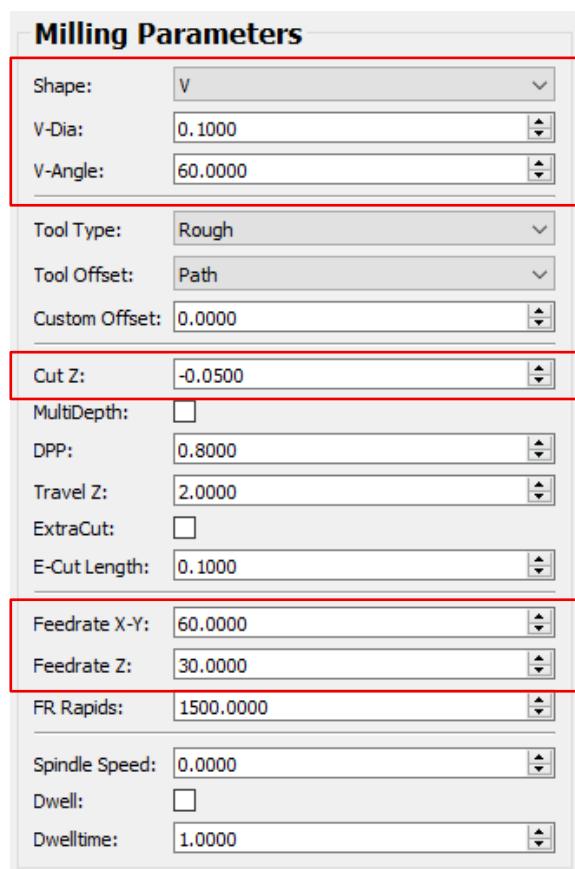
Considerando el límite superior de carga de viruta y diámetro efectivo de la fresa de 0,1mm:

$$v_f = 0,07D \text{ mm} \times 8000\text{RPM} \rightarrow v_f = 0,07(0,1) \text{ mm} \times 8000\text{RPM}$$

$$v_f = 56 \text{ mm/min} \rightarrow v_f \approx 60 \text{ mm/min}$$

El Feedrate Z será considerado como el 50% del Feedrate X-Y:

$$v_{fZ} \approx 0,5v_f \rightarrow v_{fZ} = 30 \text{ mm/min}$$



Reemplazamos los valores:

- Shape: V
- V-Dia: 0.1
- V-Angle: 60

Nota al lector: Las placas van a presentar curvaturas o desnivel superficial, puede ser necesario ajustar el Cut Z entre -0,04 mm y -0,08 mm.

- Cut Z: -0.05

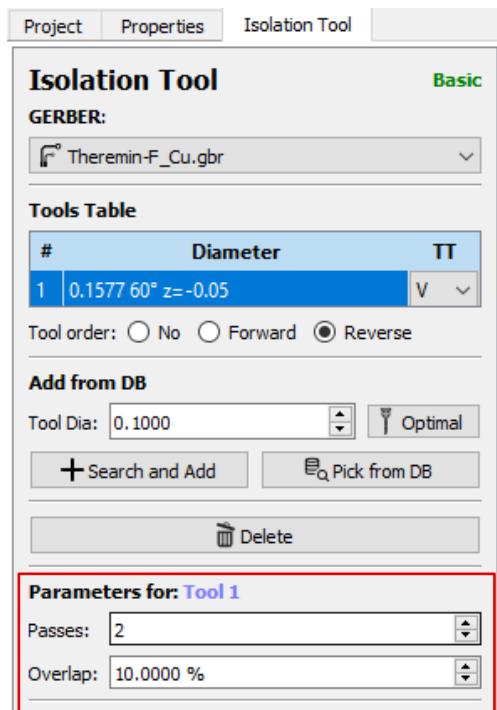
Para calcular el *Feedrate* en los ejes X-Y (avance de la mesa) y avance de eje Z, consulte la sección [Fresas Cónicas \(V-bit\)](#)

Feedrate X-Y: 60 (En base al límite superior de carga de viruta)

Feedrate Z: 30 (50% de Feedrate X-Y)

Después de obtener los parámetros necesarios, presionamos [Transfer the Tool] (Transferir la Herramienta).





De vuelta en el menú *Isolation Tool*, ya tenemos definida la herramienta correspondiente a nuestra fresa cónica.

En este menú definimos la cantidad de pasadas que realizará la SRM-20 al fresar las pistas. Este valor depende del grado de aislamiento que se necesite entre las pistas, pero un buen punto de partida es:

- Passes: 2
- Overlap: 10%*

***Nota al lector:** El *overlap* corresponde al grado de superposición entre una pasada y la pasada anterior durante el mecanizado.

Luego, generamos la geometría.



Esto nos generará un mapa rojo alrededor de nuestras pistas. Esto será utilizado en los pasos siguientes para generar el G-code.

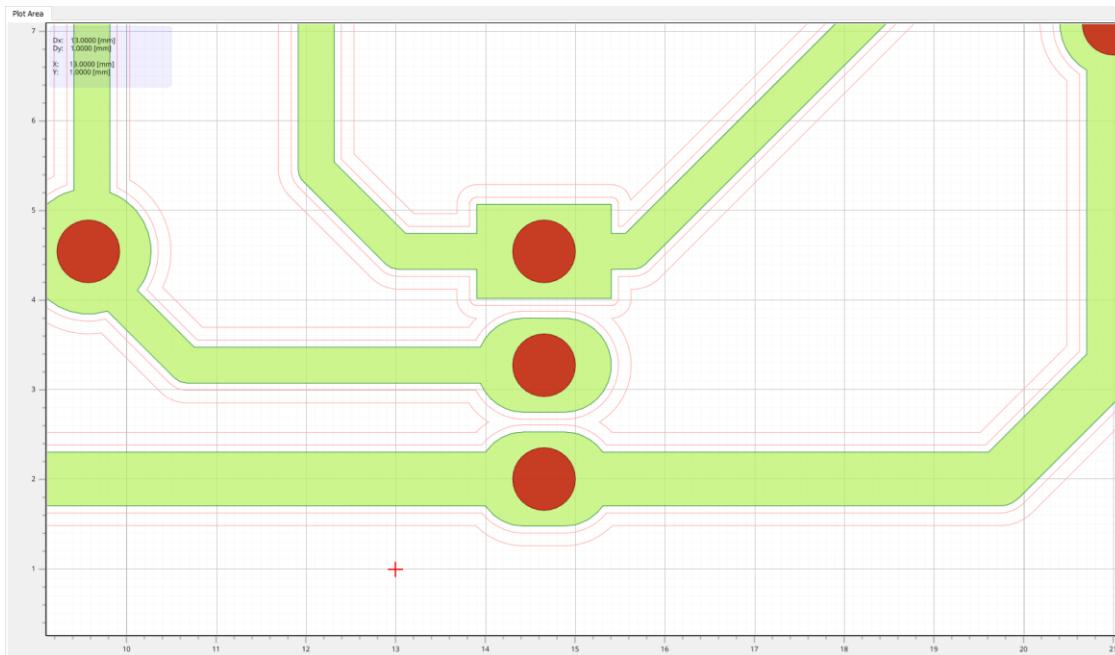
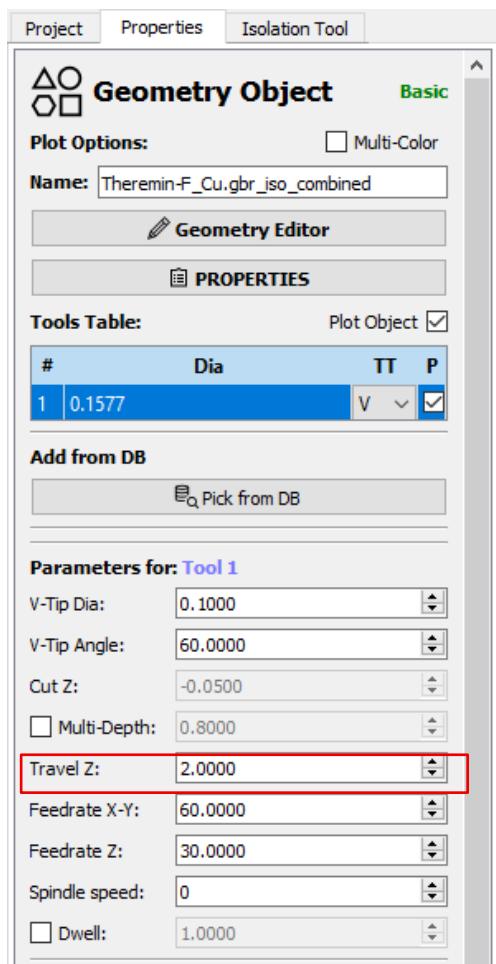


Figura 6 Demostración del objeto *Geometry* en las pistas en FlatCAM. Fuente: elaboración propia, Javier Salas Bocaz.

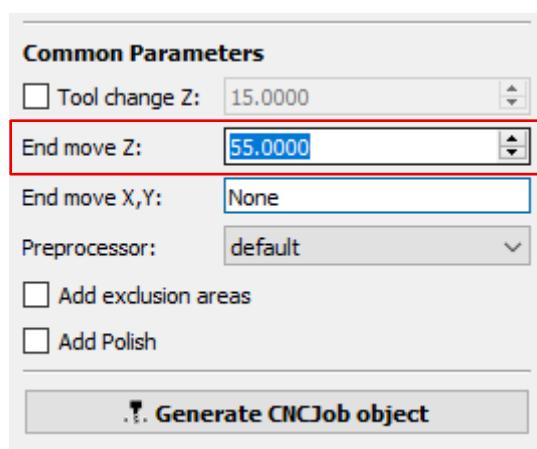
En el menú [Properties] que se abrió luego de generar el objeto de geometría (*Geometry*), hacemos unos ajustes preliminares.



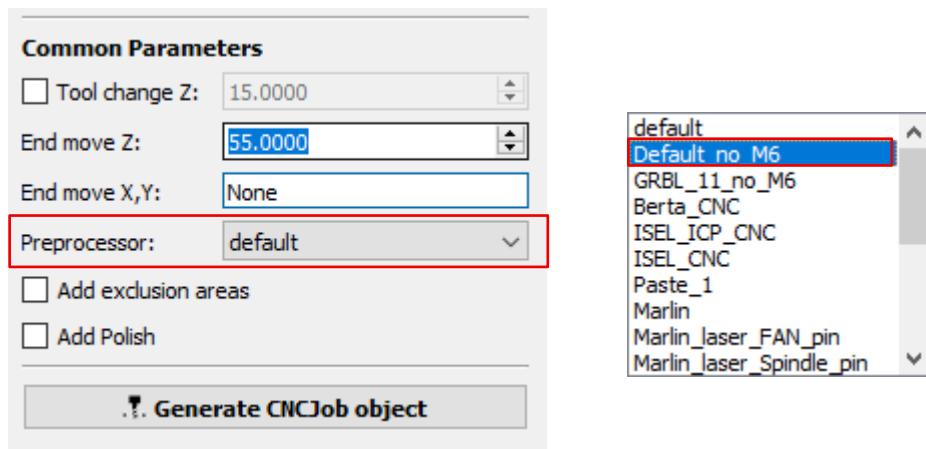
Ajustamos el parámetro *Travel Z*, que indica al SRM-20 cuánto debe levantar la fresa entre movimientos sin cortar, evitando así golpear o rozar la viruta generada durante el fresado.

- Travel Z: 5

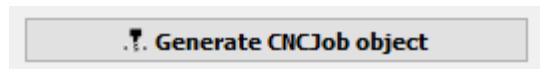
A continuación, ajustamos el valor de *End Move Z* a 55 en la sección *Common Parameters*, para facilitar la manipulación de la placa una vez finalizado el fresado.



En [Preprocessor] (Preprocesador) Seleccionamos Default_no_M6



Por último, generamos el objeto CNCJob (*CNCJob object*)



Esto generará las trayectorias de aislamiento (líneas azules) que usará el preprocesador para generar el G-code ISO 6983-1 / RS-274.

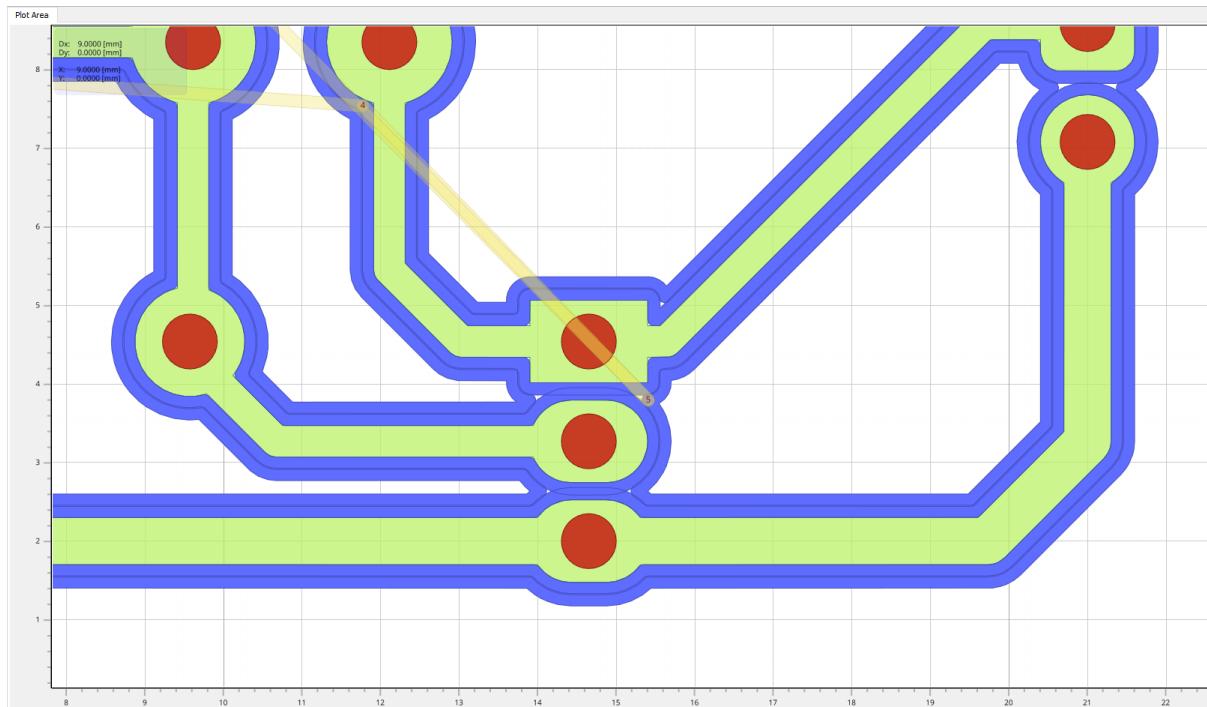
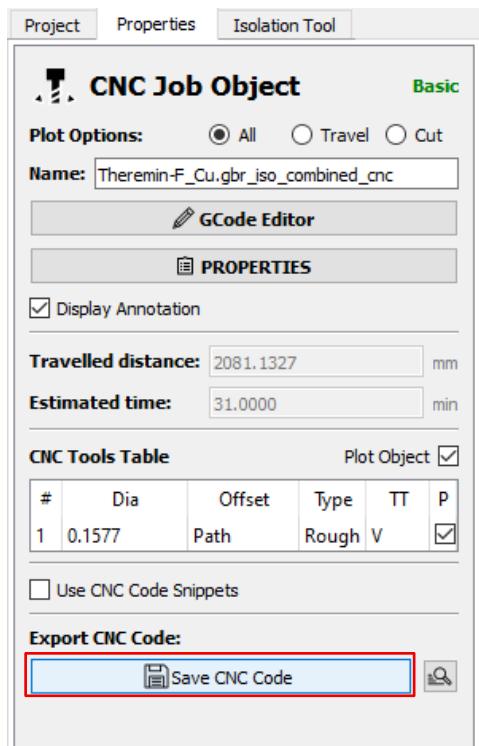


Figura 7 Demostración de *CNCJob object* en FlatCAM. Fuente: elaboración propia, Javier Salas Bocaz

Nota al lector: Se debe seleccionar el preprocesador Default_no_M6 debido a que la Roland SRM-20 no posee un sistema de cambio automático de herramientas (ATC). El comando estándar M6 (*Tool Change*) causaría una interrupción o error en la ejecución del G-code al no ser reconocido por el controlador de la máquina.

Exportamos el código CNC, presionando [Save CNC Code].



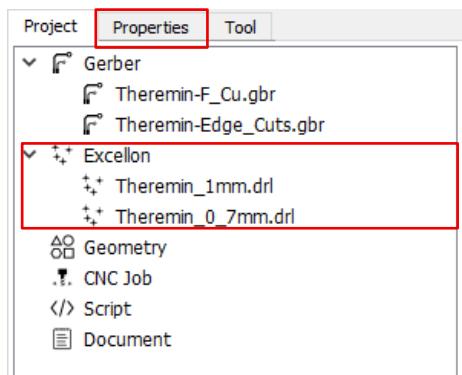
Con esto finalizamos el proceso de la generación de trayectorias de aislamiento. El archivo con extensión .nc será utilizado con VPanel para comunicarse con el SRM-20 y aislar las pistas del PCB.

Drilling Tool (Trayectoria de Perforación)

Nota al lector: Para simplificar el proceso de perforado y reducir errores, se recomienda generar archivos Excellon independientes para cada diámetro de agujero.

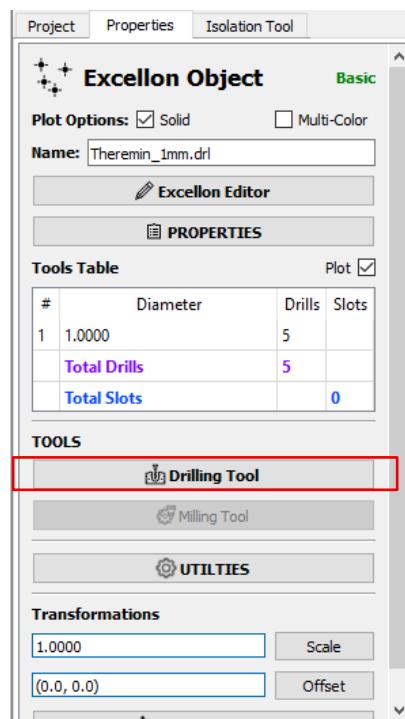
El Drilling Tool en FlatCAM se utiliza para generar las trayectorias de perforación correspondientes a los agujeros de la placa. Este proceso se aplica exclusivamente a archivos Excellon y se ejecuta de forma independiente al enrutamiento de aislamiento (*Isolation Routing*).

Se puede acceder al menú de trayectorias de perforación haciendo doble clic sobre el archivo Excellon deseado, o seleccionando el archivo y luego accediendo al menú [Properties] (Propiedades), que se encuentra junto a [Project] (Proyecto).



En el ejemplo, comenzamos por los *drills* de 1 mm.

Se presiona el botón [Drilling Tool]



En el menú que aparecerá luego de presionar [Drilling Tool], aparecen varios parámetros que tendremos que ajustar a la broca correspondiente.

Valores de ejemplo a implementar:

- Broca de 1 mm.
- Placa FR-4 estándar de 1,6 mm de espesor.

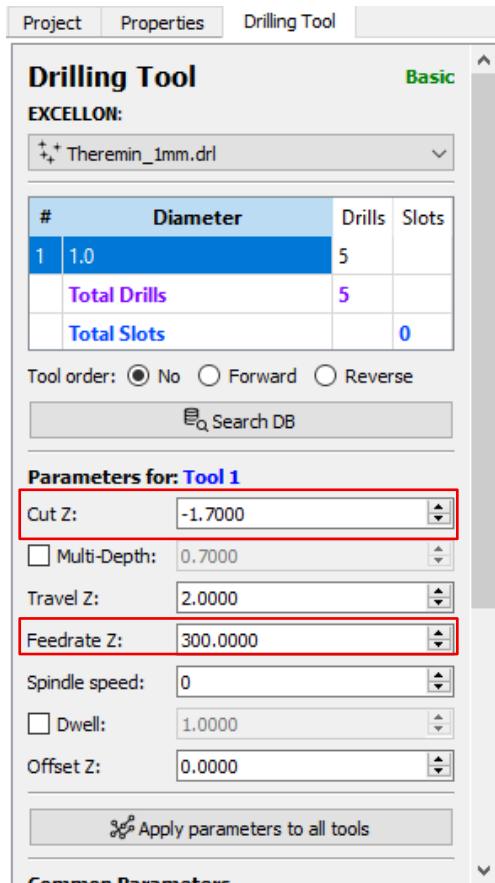
Estos valores se utilizarán a lo largo del capítulo.

Ecuaciones relevantes. Consultar la sección [Broca \(Drill\)](#).

Feedrate Z (Avance Z), ya que $D \geq 1$ mm:

$$v_{fZ} = (0,01D \text{ a } 0,04D)mm \times 8000RPM \times 2$$

Donde D es el diámetro efectivo de la broca.



Los parámetros relevantes para el proceso son:

Cut Z: La profundidad final de corte en el eje Z.

En la práctica, se recomienda utilizar un Cut Z de -2,0 mm para el perforado ya que garantiza que se atraviese por completo la placa FR-4 incluso ante variaciones de la superficie.

Feedrate Z (Avance Z): Velocidad de avance en el eje Z. Controla la rapidez con la que la herramienta desciende y asciende durante el corte.

Para saber cómo obtener el Feedrate Z (avance en el eje Z), consultar la sección sobre [Broca \(Drill\)](#).

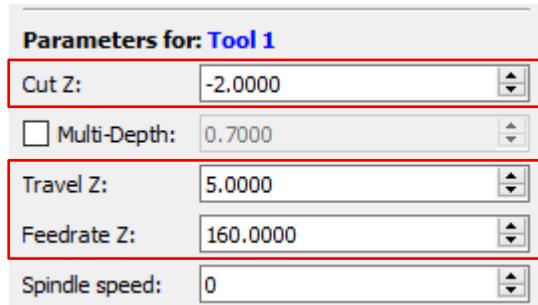
Cálculo de valores, considerando el límite inferior de carga de viruta:

$$v_{fZ} = 0,01D \times 8000RPM \times 2$$

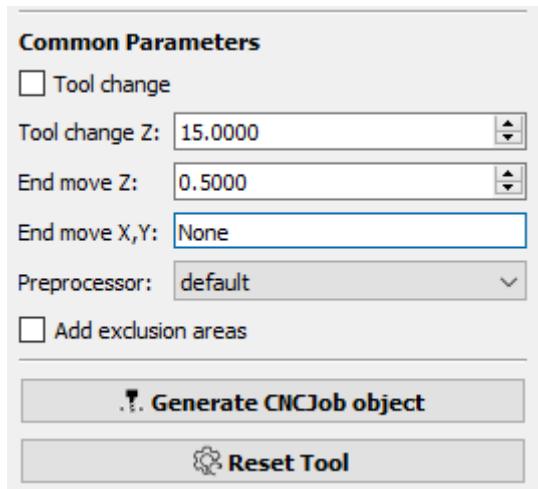
$$v_{fZ} = 0,01(1)mm \times 8000RPM \times 2 \rightarrow v_{fZ} = 160 \text{ mm/min}$$

Bajo estas condiciones, definimos:

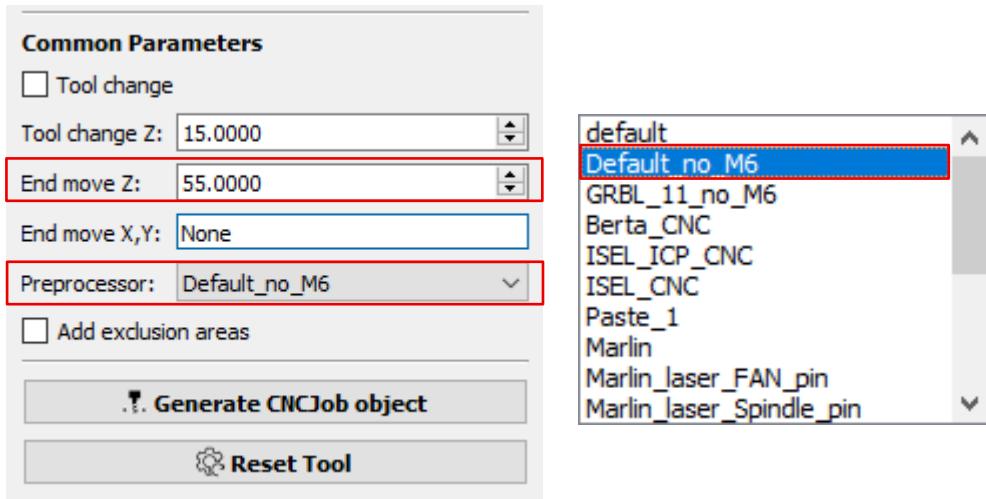
- Feedrate Z: 160 (En base a límite inferior de carga de viruta)
- Cut Z: -2
- Travel Z: 5 (Valor aumentado levemente de 2 a 5 para evitar choques con viruta)



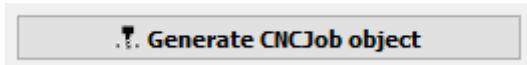
Luego de definir los parámetros para la herramienta de perforación, definiremos los *Common Parameters*, en la parte inferior del menú:



En esta sección se define el parámetro End Move Z en 55 para facilitar el acceso a la placa una vez finalizado el proceso. Asimismo, se selecciona el preprocesador Default_no_M6, encargado de generar el archivo G-code correspondiente.



Por último, generamos el objeto CNCJob (*CNCJob object*)



Se debe seguir el mismo procedimiento para el resto de los archivos “.drl”, si corresponde. Lo único que varía son los parámetros calculados, teniendo en cuenta el diámetro de la broca para ajustar el avance en el eje Z cuando sea necesario.

Con esto finalizamos el proceso de la generación de trayectorias de perforación. Los archivos con extensión .nc serán utilizados con VPanel para comunicarse con el SRM-20 para perforar el PCB.

Cutout Tool (Trayectoria de Corte de Contorno)

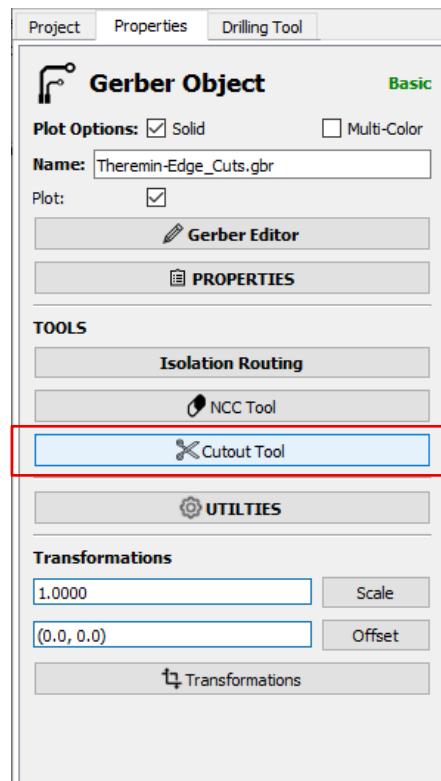
La herramienta Cutout Tool se utiliza para realizar el corte final del contorno de la placa, separándola completamente del material base una vez finalizadas las operaciones de aislamiento de pistas y perforado.

Este proceso se lleva a cabo a partir de los archivos Gerber de contorno, típicamente generados desde la capa Edge Cuts en KiCad, y requiere el uso de una fresa de maíz (corn end mill) adecuada para corte lateral en materiales como FR-4.

Se puede acceder al menú de corte de contorno haciendo doble clic sobre el archivo Gerber deseado, o seleccionando el archivo y luego accediendo al menú [Properties] (Propiedades), que se encuentra junto a [Project] (Proyecto).

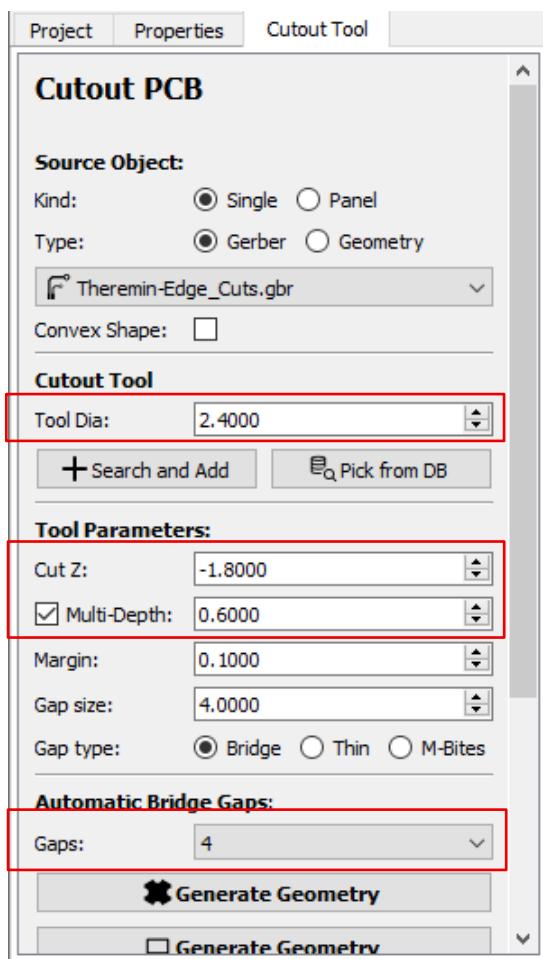


Luego, se presiona el botón [Cutout Tool].



En el menú “Cutout Tool”, se debe ingresar los valores nominales correspondientes al proceso de corte de contorno.

parámetros relevantes:



Tool Dia: Diámetro nominal de la herramienta utilizada para el corte de contorno.

Cut Z: Profundidad final de corte en el eje Z. Debe ser suficiente para atravesar completamente la placa FR-4.

Multi-Depth: Profundidad de corte por pasada. Permite dividir el corte total en múltiples pasadas en el eje Z, reduciendo la carga sobre la herramienta y la máquina. Para fresas de maíz de 2 a 3 mm se recomiendan valores entre 0,3 mm y 0,6 mm.

Gaps: Define la longitud de los segmentos sin cortar (*tabs*) que mantienen la placa unida al material base durante el fresado.

Para obtener el Feedrate X-Y (avance de cama) y avance en el eje Z, consultar la sección [Fresa de Maíz \(Corn End Mill\)](#)

Los valores de *Feedrate X-Y* y *Feedrate Z* se utilizarán en un menú posterior. Sin embargo, se recomienda realizar sus cálculos en esta etapa para facilitar la configuración del proceso.

Valores de ejemplo a implementar:

- Diámetro de fresa de corte: 3 mm.
- Placa FR-4 estándar de 1,6 mm de espesor.

Estos valores se utilizarán a lo largo del capítulo.

Ecuaciones relevantes. Consultar la sección [Fresa de Maíz \(Corn End Mill\)](#).

$$v_f = (0,01D \text{ a } 0,02D)mm \times 8000RPM$$

$$v_{fZ} \approx 0,25v_f \text{ a } 0,5v_f$$

Donde:

- D = Diámetro efectivo de la herramienta
- v_f = Avance de mesa (*Feedrate X-Y*)
- v_{fZ} = Avance Z (*Feedrate Z*)

Considerando el límite inferior de carga de viruta, calculamos el Feedrate X-Y:

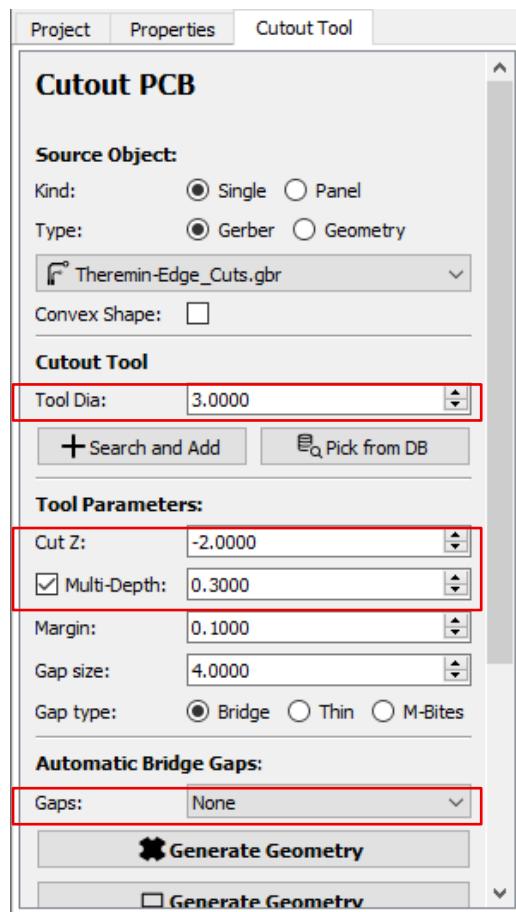
$$v_f = 0,01D \text{ mm} \times 8000 \text{ RPM} \rightarrow v_f = 0,01(3) \text{ mm} \times 8000 \text{ RPM}$$

$$v_f = 240 \text{ mm/min}$$

Considerando un 50% de Feedrate X-Y como Feedrate Z:

$$v_{fZ} = 0,5v_f \rightarrow v_{fZ} = 120 \text{ mm/min}$$

En base a las consideraciones anteriores:



- Tool Dia: 3 mm

- Cut Z: -2 mm

- Multi-Depth: 0,3 mm

Se configura una profundidad de corte por pasada de 0,3 mm, correspondiente al límite inferior recomendado en la sección de Parámetros de Fresado, lo que reduce la carga sobre la herramienta y mejora la estabilidad del proceso.

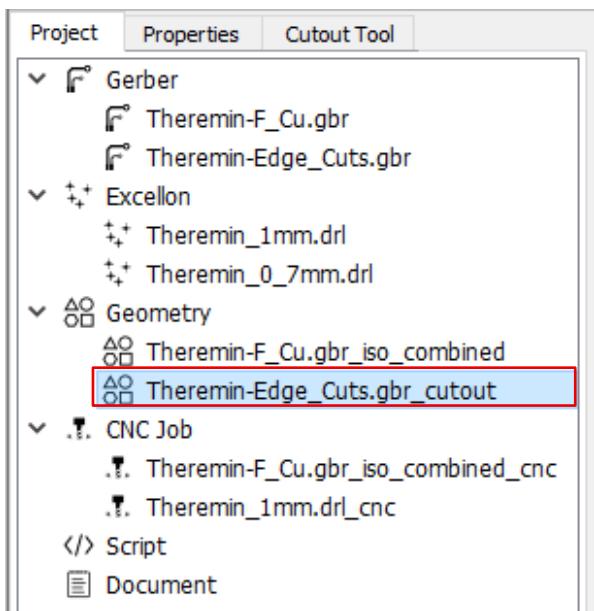
- Gaps: None

En este caso, no se utilizan gaps, ya que la placa PCB se encuentra firmemente fijada a la mesa de la SRM-20 mediante cinta doble faz.

A continuación, se presiona el botón [Generate Geometry].

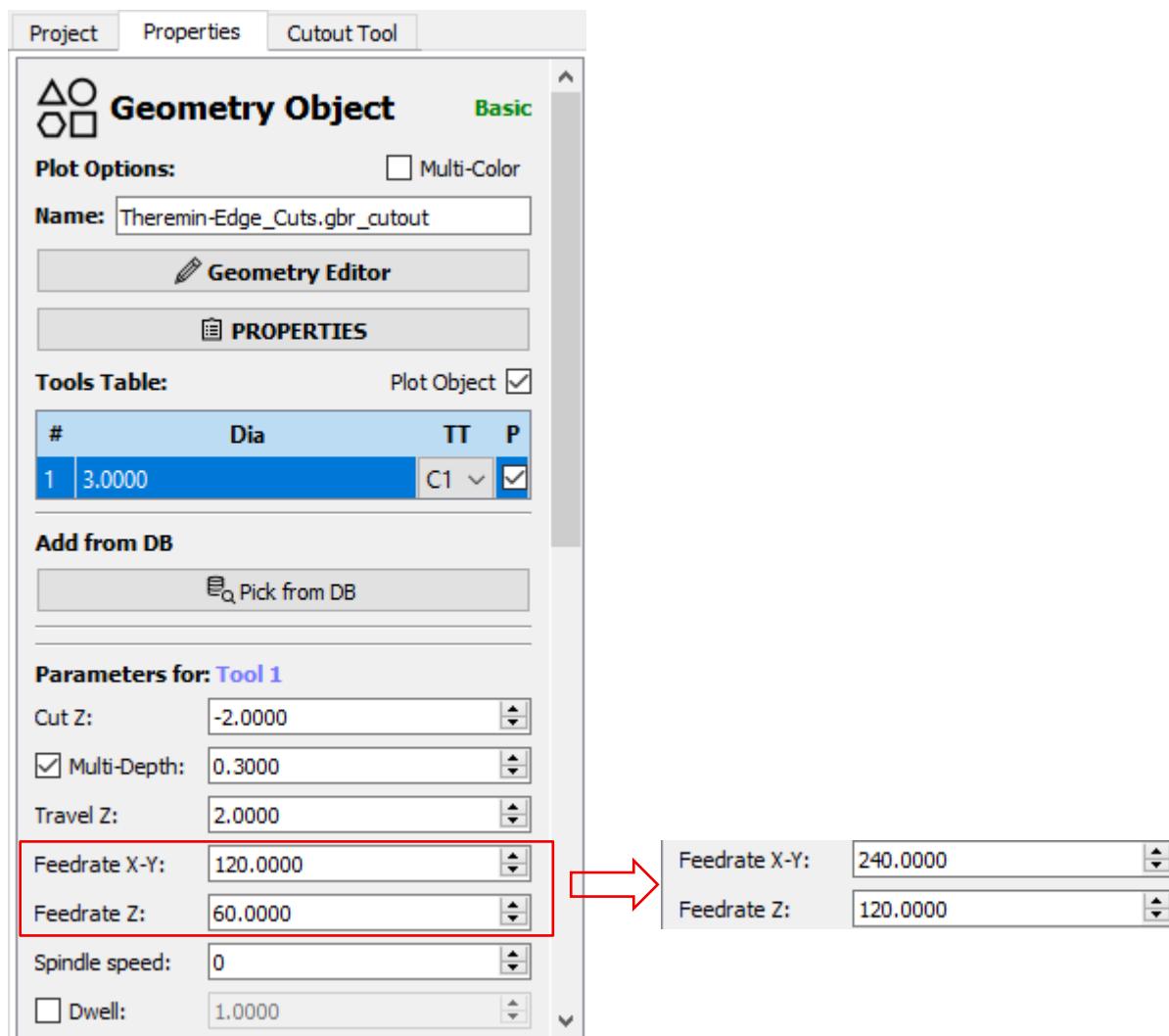
Generate Geometry

Se debe regresar al menú [Project] para ver el objeto *Geometry* creado

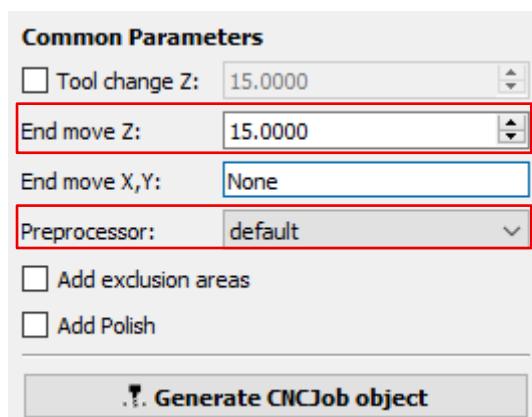


Se accede a las configuraciones del *Geometry object* creado haciendo doble clic sobre este, o seleccionando el archivo y luego accediendo al menú [Properties] (Propiedades), que se encuentra junto a [Project] (Proyecto).

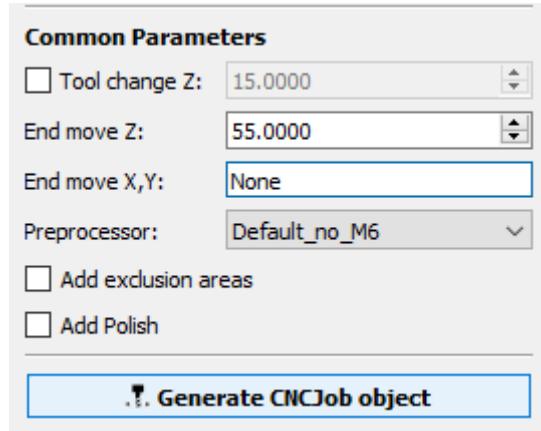
Esto abrirá la siguiente pestaña, la cual nos permite configurar el avance de mesa y avance en el eje Z que calculamos anteriormente:



Los últimos parámetros por configurar son [End Move Z] y el [Preprocessor] en la sección de *Common Parameters*:



Para *End Move Z* se configura un valor de 55, lo que proporciona espacio suficiente para manipular la placa una vez finalizado el proceso de fresado. Asimismo, se selecciona el preprocesador Default_no_M6, el cual se encarga de generar el archivo G-code compatible con la Roland SRM-20.

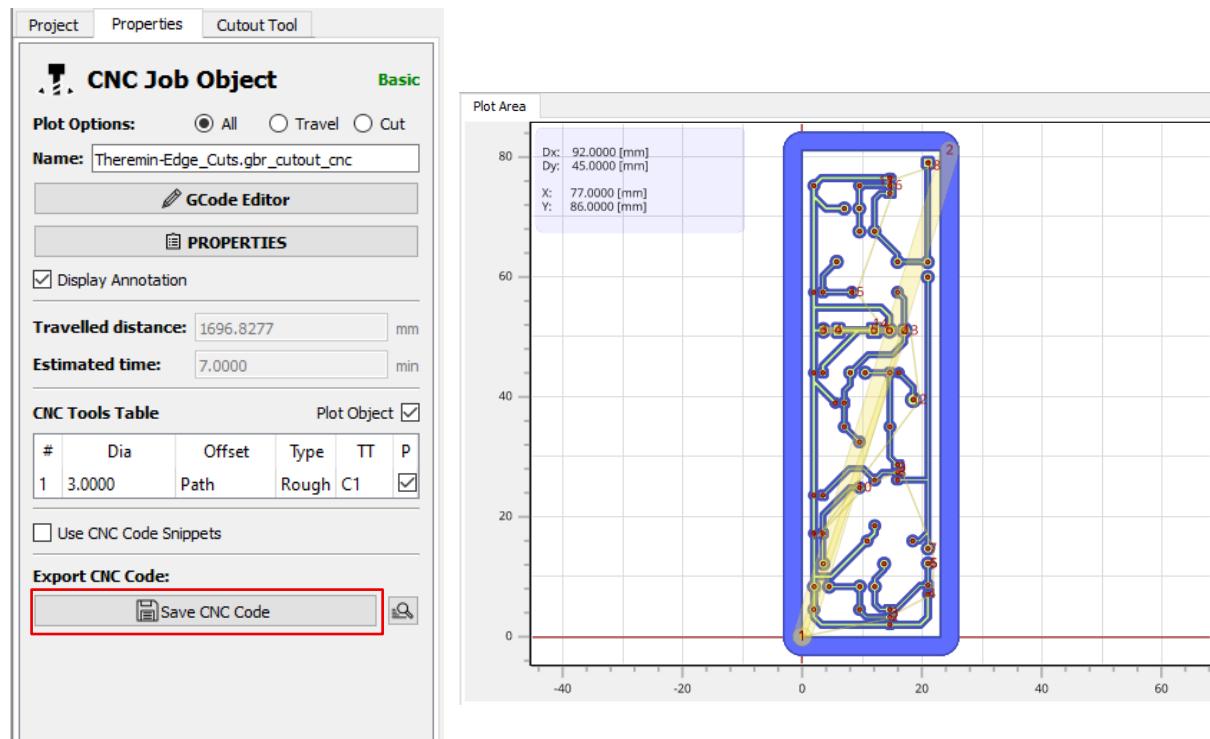


⚠ IMPORTANTE: Asegurarse de que Multi-Depth esté habilitado antes de continuar

Por último, presionamos [Generate CNCJob object] para generar el objeto CNCJob.

[Generate CNCJob object]

Para guardar el archivo, se presiona el botón [Save CNC Code].



Con esto finalizamos el proceso de la generación de trayectorias de corte de contorno. Los archivos con extensión .nc serán utilizados con VPanel para comunicarse con el SRM-20 para cortar el contorno del PCB.

Operación, Herramientas y Parámetros Correctos

Herramientas de Corte para PCB

La SRM-20 admite el uso de herramientas de corte con un diámetro de vástago de hasta 6 mm.

Las fresas más comunes son las siguientes:



No.	Nombre	Forma	Método de corte adecuado	Observaciones
1	Recta (cuadrada)	Punta plana	Nivelación de superficies / Desbaste	Adecuada para cortar superficies planas.
2	Esférica	Punta redonda	Acabado	Permite obtener un acabado limpio en la superficie mecanizada.
3	Radio	Punta plana con esquinas redondeadas	Desbaste	Reduce la aparición de líneas tras el paso de la herramienta y deja menos material remanente que una fresa esférica.
4	Cónica	Punta en forma de cono	Grabado	El ancho de la ranura (grosor del trazo) varía según la profundidad de corte.
5	Broca (drill)	Punta con filos de corte	Perforado	El diámetro de la broca corresponde al diámetro final del orificio.

El material de las placas (FR-4 sobre todo) son altamente abrasivas y requiere herramientas adecuadas para garantizar la calidad de fresado y la vida útil de la máquina.

Se debe utilizar exclusivamente fresas de Carburo Sólido (*Solid Carbide*), ya que son las únicas capaces de soportar la abrasión sin generar un desgaste acelerado de la punta.



Figura 8 Imagen referencial de fresas de grabado de carburo de tungsteno

Antes de cada uso se debe inspeccionar visualmente la punta de la fresa para detectar signos de desgaste. Una punta desgastada (desviación del ángulo nominal) resultará en trabajos imprecisos y puede dañar el material.

Por lo tanto, nunca se deben utilizar herramientas de materiales blandos o de baja calidad (HSS, fresas genéricas no-carburo, fresas de baja dureza), ya que estas se deterioran rápidamente, causando vibración y pérdida de precisión incluso con los parámetros correctos de fresado.

Sin embargo, al utilizar prácticas inadecuadas, como el uso de aceite durante el proceso de fresado y/o velocidades de cama (*feedrate*) demasiado rápidas, una fresa cónica de carburo puede verse desgastada de forma súbita.

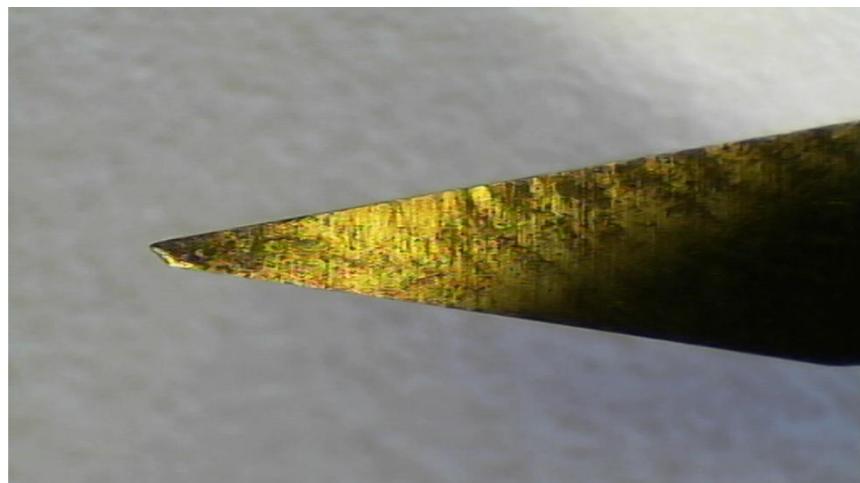


Figura 9 Desgaste en la punta de una fresa de carburo. Fuente: Bastián Urra Alcaino

Se observa una punta gastada y “aplanada” en contraste con esta misma al haber estado nueva, como a continuación:

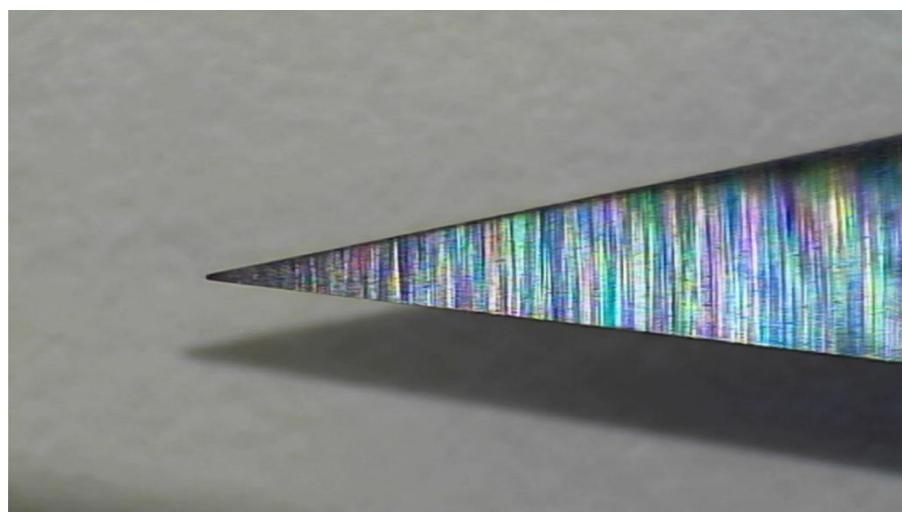


Figura 10 Punta de una fresa de carburo nueva. Fuente: Bastián Urra Alcaino

Área de Corte

Nota para el lector: En base al área de corte, coloque el material, la plantilla y demás elementos similares de forma que encajen dentro del rango determinado. Cualquier elemento que sobresalga podría golpear las piezas móviles.

Asegúrese de cumplir con este requisito, ya que de lo contrario podría dañar la pieza de trabajo o el bastidor, o incluso provocar un mal funcionamiento de la máquina.

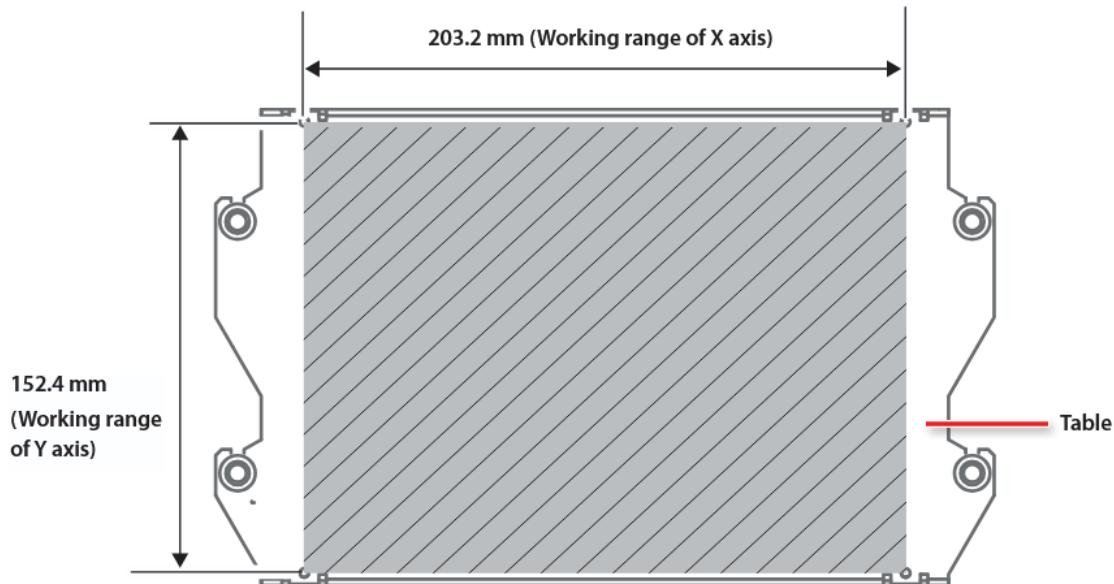


Figura 11 Rangos de trabajo máximos del SRM-20 en el eje X-Y. Fuente: Roland DG Corporation

Eje X	Cuenta con un rango de trabajo de 203,2 mm
Eje Y	Cuenta con un rango de trabajo de 152,4 mm

Para el eje Z se cuenta con un espacio más reducido:

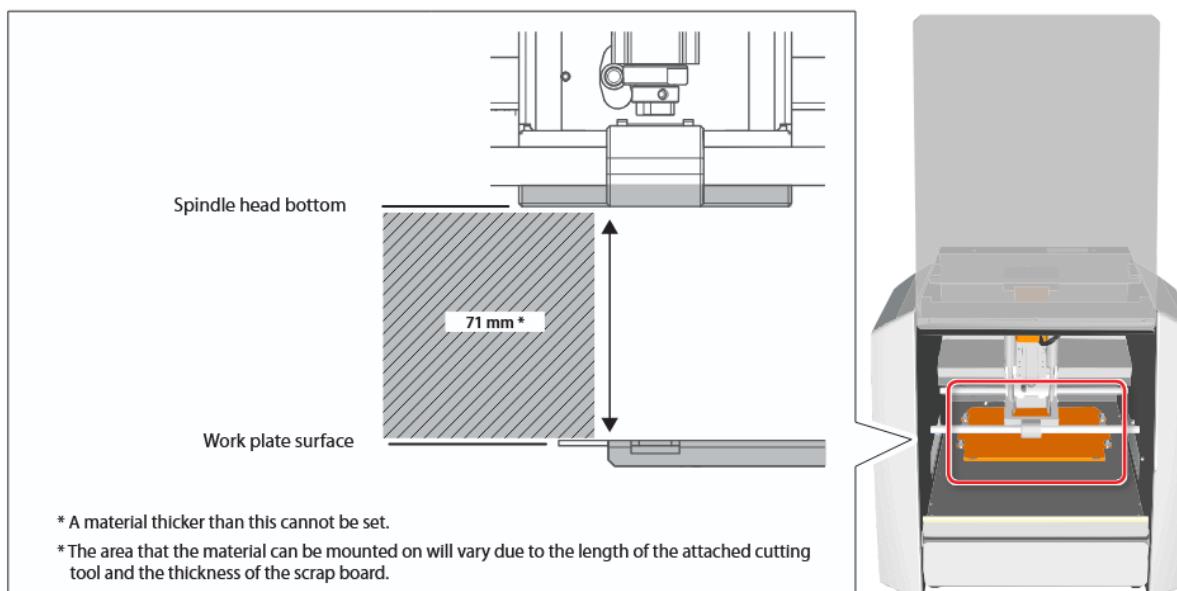


Figura 12 Rango de trabajo máximo del SRM-20 en el eje Z. Fuente: Roland DG Corporation

Eje Z

Cuenta con un rango de trabajo de 71 mm

No es necesariamente posible fresar un objeto con el tamaño del recorrido completo del eje. Dado que se requiere cierta holgura en los ejes X, Y y Z para el avance sin carga de la herramienta, el tamaño admisible de la pieza se reduce proporcionalmente. Además, la profundidad de corte posible suele estar determinada por la longitud de la herramienta. Usar una herramienta larga para lograr un corte profundo reduce la holgura en el eje Z, lo que a su vez reduce el tamaño admisible de la pieza. El tamaño de lo que se puede cortar varía según la forma del objeto que se desea crear y la herramienta que se utilice. **Considere esto antes de comenzar a trabajar.**

Elaboración de Parámetros de Mecanizado

Nota al lector:

En esta sección se presentan los criterios técnicos utilizados para calcular y justificar los parámetros de fresado empleados en este manual.

El lector que desee comprender el fundamento teórico puede seguir el desarrollo completo de las ecuaciones.

Aquellos que busquen únicamente replicar el proceso pueden remitirse a los valores finales resumidos al final de cada subsección.

La correcta definición de los parámetros de fresado es un factor crítico para obtener resultados confiables en el mecanizado de PCBs, especialmente al trabajar con máquinas de escritorio como la Roland SRM-20, cuya rigidez estructural y potencia son limitadas en comparación con centros de mecanizado industriales.

En esta sección se presenta un criterio sistemático para la elaboración de parámetros de fresado, que permite justificar y calcular los valores que posteriormente se ingresan en los distintos menús de FlatCAM. Dicho criterio se basa en recomendaciones de fabricantes de herramientas de corte y se adapta a las condiciones reales de operación de la SRM-20. Se abordan conceptos fundamentales como la carga de viruta, la velocidad de husillo, el número efectivo de filos (Z_{EFF}) y la reducción del avance en el eje Z, diferenciando entre los principales tipos de herramientas utilizados en el fresado de PCBs: fresas cónicas (V-bit), brocas (drills) y fresas de maíz (end mills).

El objetivo de esta sección es proporcionar al lector las herramientas conceptuales necesarias para calcular, evaluar y ajustar los parámetros de fresado antes de ingresarlos en FlatCAM, promoviendo un uso más seguro, eficiente y reproducible de la máquina.

Según la documentación técnica de Sandvik Coromant (*Fórmulas y definiciones de fresado*), el avance de mesa se calcula mediante la siguiente expresión:

$$v_f = f_z \times n \times Z_{EFF}$$

Ecuación 1 Avance de mesa. Fuente: Sandvik Coromant

Donde:

- v_f = Avance de mesa (*feedrate*) en mm/min
- n = velocidad del husillo en RPM (Revoluciones Por Minuto)
- f_z = Carga de viruta (*chipload*) en mm *
- Z_{EFF} = Número efectivo de filos (*Effective Number of Teeth*) *

* Z_{EFF} es el número de filos que realmente cortan durante la operación, y puede ser menor al número total de filos según el contacto de la herramienta con el PCB.

* f_z es la cantidad de material que corta cada filo de la herramienta en cada vuelta

En muchos casos no se dispone de la hoja de datos del fabricante de la fresa. A partir del análisis empírico de tablas de datos de fabricantes internacionales de fresas (Dreanique, entre otros.) y experiencia propia, se puede asumir como punto de partida un avance por diente equivalente del 1% al 7% del diámetro de la herramienta, los cuales se ajustan mediante se cambia de herramienta.

$$f_z \approx 0,01D \text{ a } 0,07D$$

Ecuación 2 Avance por diente recomendado generalizado para la SRM-20

Donde D corresponde al diámetro nominal de la fresa.

La velocidad máxima del husillo de la Roland SRM-20 es de aproximadamente 8000 RPM (consultar sección de [Especificaciones Técnicas Relevantes de la Roland SRM-20](#)).

Bajo esta condición, es posible expresar una ecuación generalizada para el cálculo del avance de mesa, utilizando valores prácticos de carga de viruta:

$$v_f = (0,01D \text{ a } 0,07D)mm \times 8000RPM \times Z_{EFF}$$

Ecuación 3 Expresión generalizada del avance de mesa para la SRM-20 a 8000 RPM

Donde:

- v_f = Avance de mesa (*feedrate*) en mm/min
- f_z = Avance por diente (*chipload*) en mm/diente
- Z_{EFF} = Número efectivo de filos (*Effective Number of Teeth*)

El ajuste de esta ecuación depende de qué tipo de herramienta se está utilizando.

Resumen Operativo: Formulas Generales (Elaboración de Parámetros de Mecanizado)

Resumen operativo: Fórmulas relevantes e Información Importante

Donde D es diámetro efectivo de la herramienta:

Avance de mesa: $v_f \approx (0,01D \text{ a } 0,07D)mm \times 8000RPM$

Avance Z: $v_{fZ} \approx 0,25v_f \text{ a } 0,5v_f$

Al momento de calcular los *feedrates* (avances en los ejes X-Y o Z), el valor resultante puede redondearse para facilitar su aplicación práctica, siempre que dicho redondeo no incremente el valor calculado en más de un 10%, privilegiando en todo caso la reducción del avance.

Fresas Cónicas (*V-bit*)



En la Roland SRM-20, se recomienda utilizar una carga de viruta moderada, típicamente entre 4% y 7% del diámetro efectivo, siempre que se trate de fresas cónicas de punta fina y profundidades de corte reducidas, como es el caso del aislamiento de pistas en PCBs.

Este rango permite obtener valores de avance prácticos, del orden de 30 a 60 mm/min, evitando avances excesivamente lentos sin introducir sobrecargas significativas en la herramienta o en la máquina.

Además, para operaciones de aislamiento de pistas con fresas cónicas (*V-bit*), se considera un número de filos efectivo $Z_{\text{EFF}} = 1$, ya que, a profundidades de corte reducidas, solo un filo participa de manera efectiva en el mecanizado.

Bajo estas condiciones, el avance de mesa puede expresarse como:

$$v_f = (0,01D \text{ a } 0,07D) \text{ mm} \times 8000 \text{ RPM}$$

Ecuación 4 Avance de mesa recomendado para aislamiento de pistas con fresa cónica (SRM-20)

Respecto al avance en el eje Z (*feedrate Z* o *plunge feedrate*), las fresas cónicas no están diseñadas para realizar cortes axiales eficientes. Por este motivo, se recomienda reducir el avance en dicho eje.

Si bien se utiliza la misma fórmula empleada para calcular el avance en X-Y para el eje Z, se recomienda aplicar un factor de reducción del 25% al 50%, quedando:

$$v_{fZ} \approx 0,25v_f \text{ a } 0,5v_f$$

Ecuación 5 Avance recomendado en el eje Z (feedrate Z o plunge feedrate)

Resumen Operativo: Aislamiento de Pistas (Fresas Cónicas o V-bit)

Resumen operativo: Aislamiento de pistas

Para operaciones de aislamiento de pistas en PCBs de FR-4 de 1,6 mm y 0,035 mm de espesor de cobre (1 oz/ft²), utilizando fresas cónicas de carburo sólido:

Avance de mesa (Feedrate X-Y):

$$v_f = (0,01D \text{ a } 0,07D)mm \times 8000RPM$$

Donde D es diámetro efectivo.

- Diámetro efectivo recomendado: 0,1 mm
- Profundidad de corte (Cut Z): -0,04 a -0,08 mm (recomendado: -0,05 mm)

Avance Z (Feedrate Z o Plunge Feedrate):

$$v_{fZ} \approx 0,25v_f \text{ a } 0,5v_f$$

- Avance Z recomendado: 50 % de Feedrate X-Y ($0,5v_f$)

Broca (*Drill*)



En la Roland SRM-20, debido a su baja rigidez y potencia, se recomienda mantenerse en la parte baja del rango de carga de viruta recomendada, típicamente entre 1% y 4% del diámetro de la broca, comenzando las pruebas desde el valor inferior para evitar sobrecargas.

Dado que las brocas se utilizan exclusivamente para operaciones de perforado y no para aislamiento de pistas, el avance se calcula mediante la fórmula estándar de avance de mesa, sin aplicar factores de corrección adicionales para el eje Z:

$$v_{fZ} = (0,01D \text{ a } 0,04D) \text{ mm} \times 8000 \text{ RPM} \times 2$$

Ecuación 6 Avance de mesa en operaciones de perforado con broca (Diámetro de broca mayor a 1mm)

Las brocas poseen un número de filos efectivo igual a 2, por lo que se considera $Z_{EFF} = 2$ para diámetros mayores o iguales a 1 mm.

En el caso de utilizar brocas con diámetros menores a 1 mm, se recomienda aplicar el mismo criterio utilizado para las fresas cónicas, reduciendo el *feedrate* en el eje Z de un 25% a 50% del valor calculado de v_f y asumiendo un $Z_{EFF} = 1$, con el fin de minimizar el riesgo de rotura de la herramienta.

$$v_{fZ} = 0,25[(0,01D \text{ a } 0,04D) \text{ mm} \times 8000 \text{ RPM}]$$

Ecuación 7 Avance en el eje Z para perforado con brocas de diámetro menor a 1 mm (criterio conservador inferior)

$$v_{fZ} = 0,5[(0,01D \text{ a } 0,04D) \text{ mm} \times 8000 \text{ RPM}]$$

Ecuación 8 Avance en el eje Z para perforado con brocas de diámetro menor a 1 mm (criterio conservador superior)

Resumen Operativo: Perforado de PCB (Broca o Drill)

Resumen operativo: Perforado de PCB

Avance eje Z (Feedrate Z o Plunge Feedrate) para brocas ≥ 1 mm:

$$v_{fZ} = (0,01D \text{ a } 0,04D)mm \times 8000RPM \times 2$$

Donde D es el diámetro efectivo.

- Profundidad de corte recomendado (Cut Z): -2,0 mm

Avance Z (Feedrate Z o Plunge Feedrate) para brocas < 1 mm:

$$v_{fZ} = 0,5[(0,01D \text{ a } 0,04D)mm \times 8000RPM]$$

- Reducir el avance Z al 25% o 50% del valor calculado (Recomendado: 50%)

Fresa de Maíz (Corn End Mill)



En la Roland SRM-20, debido a su baja rigidez y potencia, se recomienda mantenerse en la parte media-baja del rango de carga de viruta recomendada, típicamente entre 1% y 2% del diámetro de fresa, comenzando las pruebas desde el valor inferior para evitar sobrecargas.

Para operaciones de corte de contorno, es habitual utilizar fresas de maíz de mayor diámetro en comparación con las empleadas para aislamiento o perforado. En particular, el uso de fresas de 2 mm a 3 mm de diámetro resulta ventajoso, ya que su mayor rigidez permite incrementar el avance en los ejes X-Y, reduciendo el tiempo total de mecanizado y mejorando la estabilidad del corte.

Las fresas de maíz (corn end mills) pueden presentar distintos números de filos geométricos, especialmente a medida que aumenta su diámetro. No obstante, para operaciones de corte de contorno en PCBs con la Roland SRM-20, se adopta un enfoque más conservador, considerando un número efectivo de filos $Z_{EFF} = 1$, independientemente del número de filos geométricos de la herramienta.

Con estas consideraciones, definimos:

$$v_f = (0,01D \text{ a } 0,02D) \text{ mm} \times 8000 \text{ RPM}$$

Ecuación 9 Avance de mesa en operaciones de corte de contorno

Respecto al avance en el eje Z (*feedrate Z* o *plunge feedrate*), las fresas de maíz, al igual que las cónicas, no están diseñadas para realizar cortes axiales eficientes. Por este motivo, se recomienda reducir el avance en dicho eje.

Si bien se utiliza la misma fórmula empleada para calcular el avance en X-Y para el eje Z, se recomienda aplicar un factor de reducción del 25% al 50%, quedando:

$$v_{fZ} \approx 0,25v_f \text{ a } 0,5v_f$$

Ecuación 10 Avance recomendado en el eje Z (feedrate Z o plunge feedrate)

Se recomienda hacer pasadas de 0,03 mm - 0,06 mm durante el proceso de corte de contorno.

Resumen Operativo: Corte de Contorno (Fresa de Maíz o Corn End Mill)

Resumen operativo: Corte de contorno de PCB

Avance de mesa (Feedrate X-Y):

$$v_f = (0,01D \text{ a } 0,02D) \text{ mm} \times 8000 \text{ RPM}$$

Donde D es diámetro efectivo.

- Diámetro de fresa recomendado: 2 a 3 mm
- Profundidad total (Cut Z): -2,0 mm
- Profundidad por pasada (Multi-Depth): 0,3 mm - 0,06 mm

Avance Z (Feedrate Z):

$$v_{fZ} \approx 0,25v_f \text{ a } 0,5v_f$$

- Avance Z (Feedrate Z o Plunge Feedrate) recomendado: 50% de Feedrate X-Y ($0,5v_f$)

Parámetros Rápidos de Referencia para el Mecanizado

Si este es su primer mecanizado, puede utilizar directamente estos valores en FlatCAM, sin consultar las secciones técnicas.

	Aislamiento de pistas (V-bit)	Perforado PCB	Corte de contorno
Material	FR-4 estándar	FR-4 estándar	FR-4 estándar
Herramienta	V-bit 0,1 mm / 60°	Broca 1 mm	Fresa de maíz 3 mm
RPM	7000–8000 (máximo SRM-20)	7000–8000 (máximo SRM-20)	7000–8000 (máximo SRM-20)
Feedrate XY	60 mm/min	No aplica.	240 mm/min
Feedrate Z	30 mm/min	160 mm/min	120 mm/min
Cut Z	-0,05 mm	-2,0 mm	-2,0 mm
Pasadas	2	No aplica.	No aplica.
Overlap	20%	No aplica.	No aplica.
Travel Z	5 mm	5 mm	No aplica.
Multi-Depth	No aplica.	No aplica.	0,3 mm
Gaps	No aplica.	No aplica.	Ninguno (con cinta doble faz)

Nota al lector: Valores validados para SRM-20, FR-4, placas de 1,6 y 1,8 mm, fijadas con cinta doble faz.

Flujo Completo de Trabajo

El proceso de fresado CNC de una PCB con la Roland SRM-20 comienza con la preparación del diseño y finaliza con la retirada segura de la pieza mecanizada. Cada etapa depende de la correcta ejecución de la anterior, por lo que se recomienda seguir el flujo completo sin omitir pasos.

Recomendación de Diseño CAD

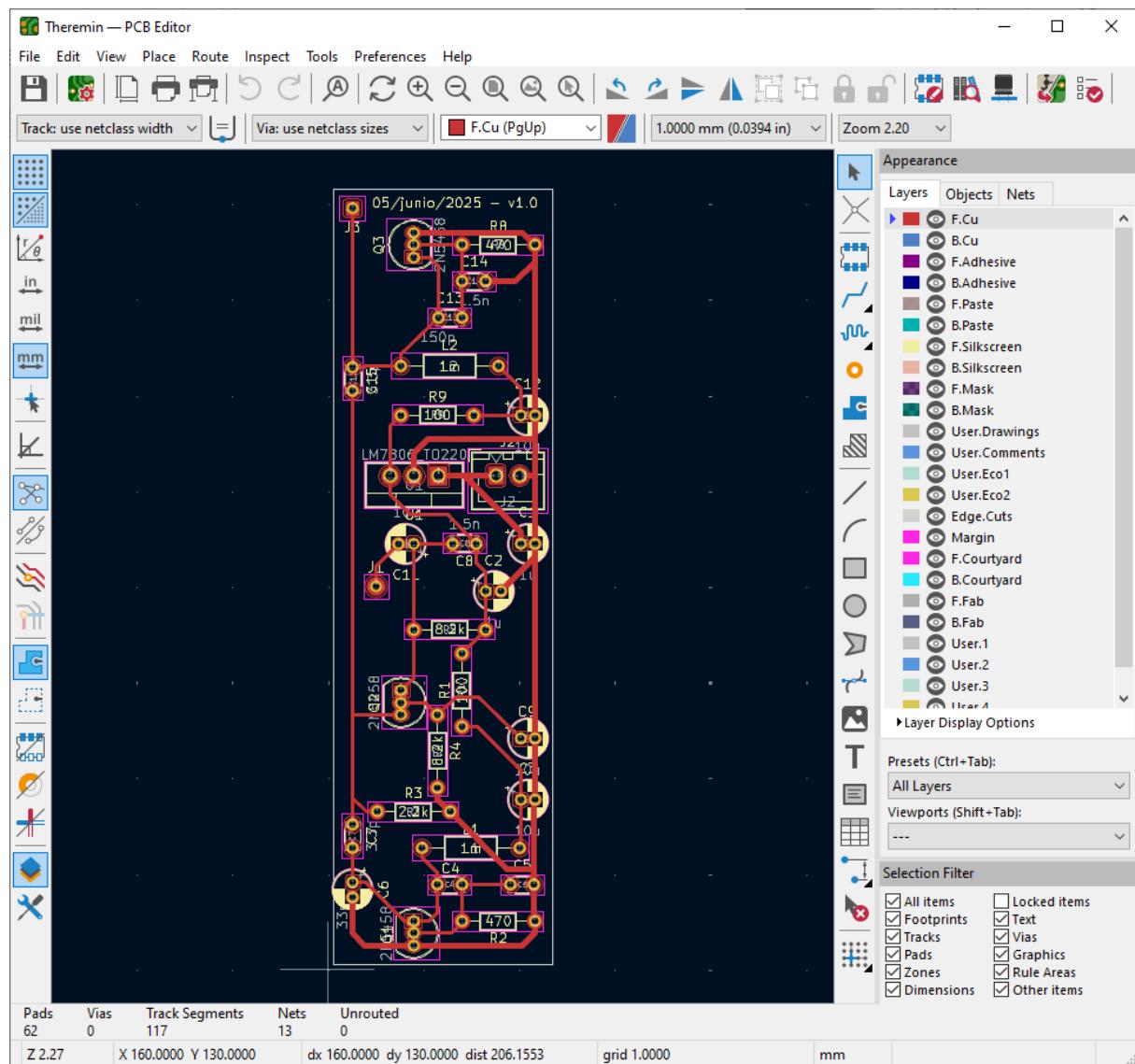
Aunque la Roland SRM-20 posee una precisión mecánica alta, la capacidad de aislar pistas de cobre depende directamente de la geometría de la fresa y la estabilidad del material.

- **Recomendación del Autor:** Para proyectos que requieran alta densidad, se recomienda considerar un ancho de pista mínimo absoluto de 0,4 mm.
- **Advertencia:** Intentar trabajar por debajo de este límite (especialmente cerca de los 0,1 mm) aumenta drásticamente el riesgo de falla. Las pistas se vuelven extremadamente frágiles, pierden adherencia con el sustrato o pueden desaparecer completamente debido a mínimas irregularidades en la nivelación del eje Z. Para asegurar la integridad física de la pista y una conductividad fiable, se sugiere mantener un ancho de 0,6 mm o superior en diseños estándar.

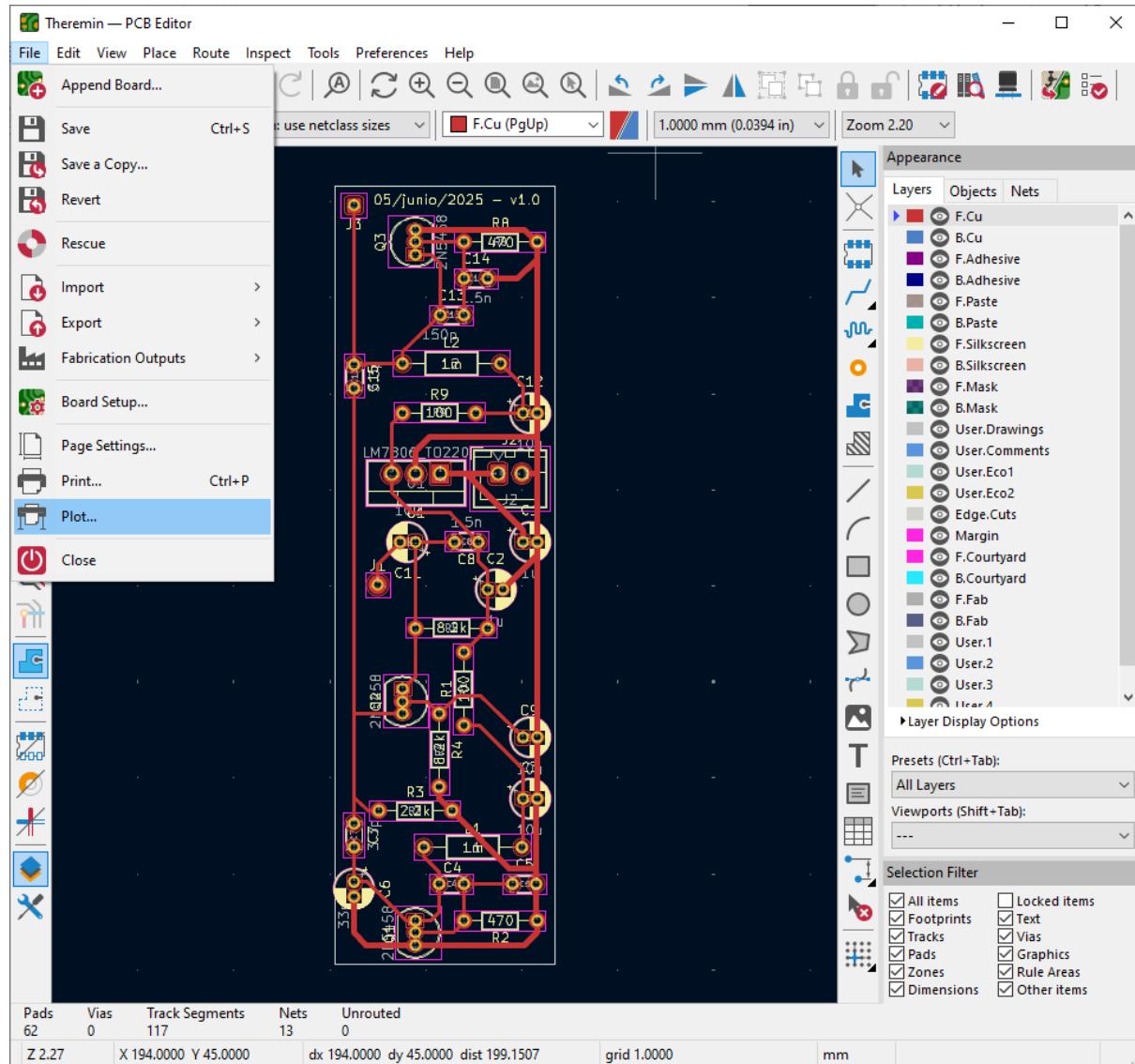
Generación Archivos Gerber y Excellon (Proteus 8 y KiCad 9)

Este manual asume que el lector posee conocimientos previos en el uso de Proteus 8 y/o KiCad 9 para el diseño de esquemáticos y placas PCB. El objetivo de esta sección es describir el procedimiento para la correcta generación de archivos Gerber y Excellon para el proceso de mecanizado de los diseños ya realizados.

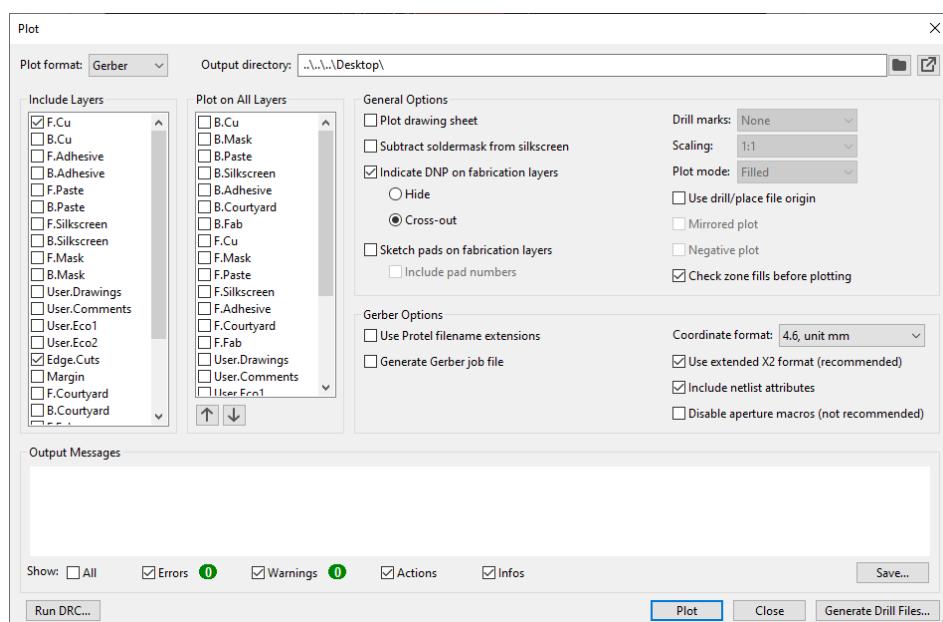
KiCad 9



En la interfaz de PCB Editor de KiCad 9, una vez finalizado el diseño de la placa, se procede a la exportación de los archivos necesarios. Para ello, se debe acceder al menú [File] (Archivo), ubicado en la esquina superior izquierda de la interfaz.



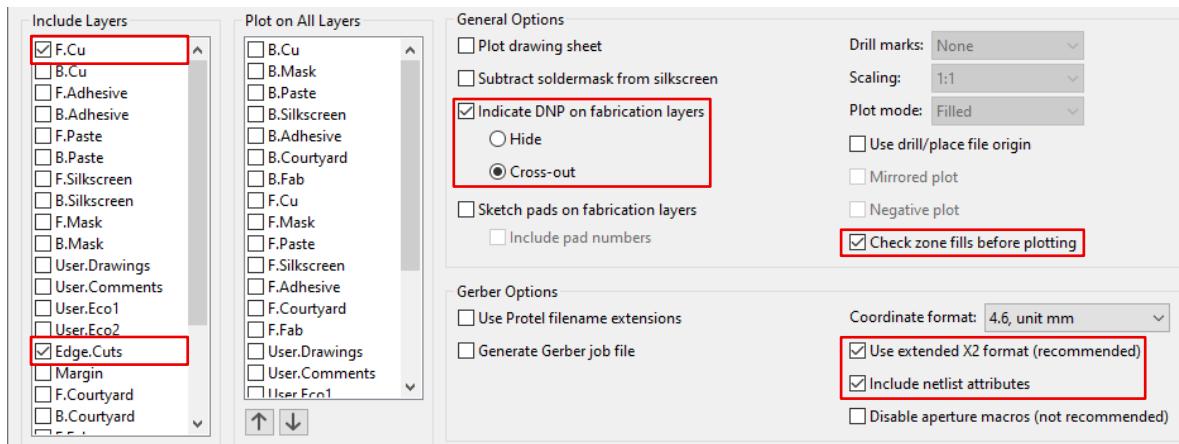
En este menú, presionamos [Plot...]. Esto abrirá la siguiente ventana:



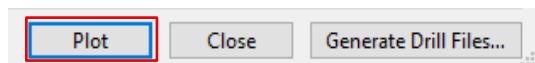
En la sección “*Include Layers*” (Incluir Capas) se deben seleccionar únicamente las capas Edge.Cuts, correspondiente al contorno de la placa, y F.Cu, correspondiente a la capa de cobre frontal del diseño. Si existen selecciones en “*Plot on All Layers*”, deseleccionarlos.

En caso de haberse utilizado la capa trasera de cobre, también es posible exportar B.Cu. Sin embargo, hay que asegurarse de realizar los diseños en una sola cara de la placa, ya que esto simplifica significativamente el proceso de mecanizado en la Roland SRM-20.

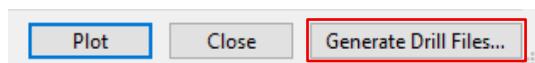
Las opciones se deben ver de la siguiente manera:



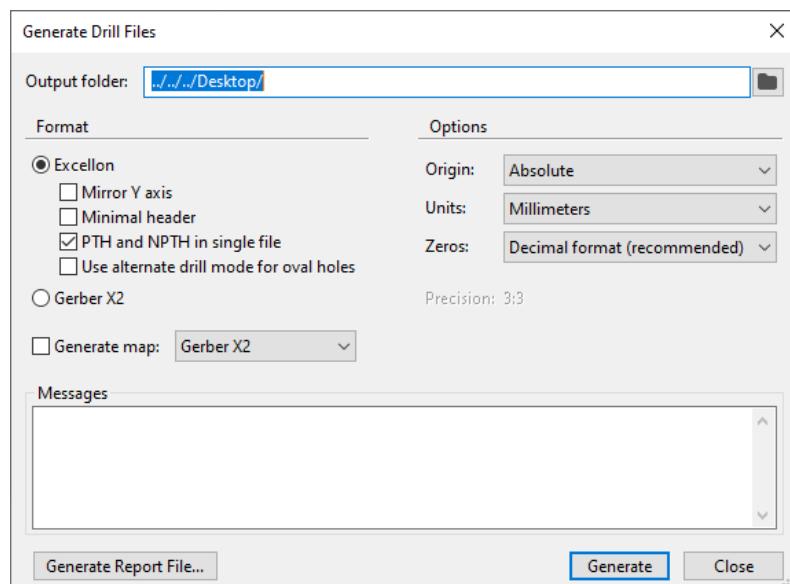
Después de tener las opciones como se muestran en la imagen, se puede generar el archivo Gerber con el botón [Plot]



Luego, para entrar al menú para generar los archivos de perforado, se presiona [Generate Drill Files...]

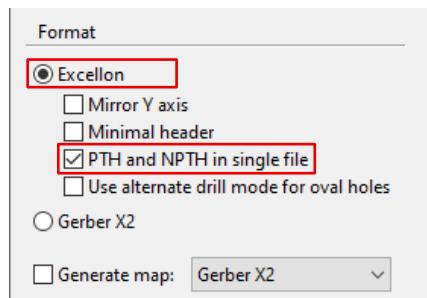


Esto abre la siguiente ventana:

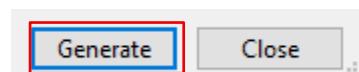


Se selecciona el formato Excellon para la generación del archivo de perforado.

Se recomienda generar un único archivo de perforado (PTH y NPTH en un solo archivo), ya que la distinción entre ambos no es relevante en el proceso de mecanizado CNC con la SRM-20.



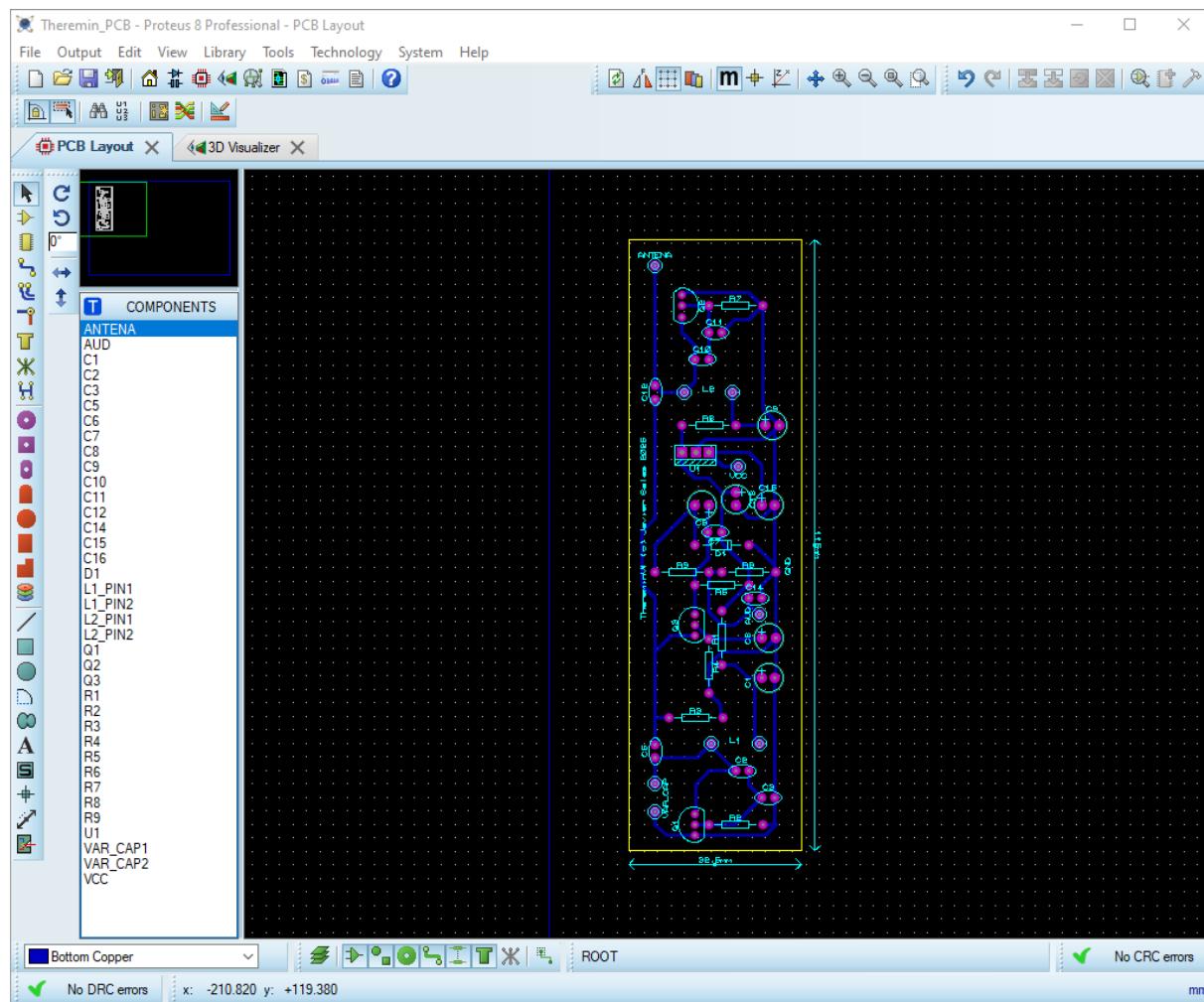
Después de tener las selecciones como la imagen, se genera el archivo Excellon presionando [Generate]



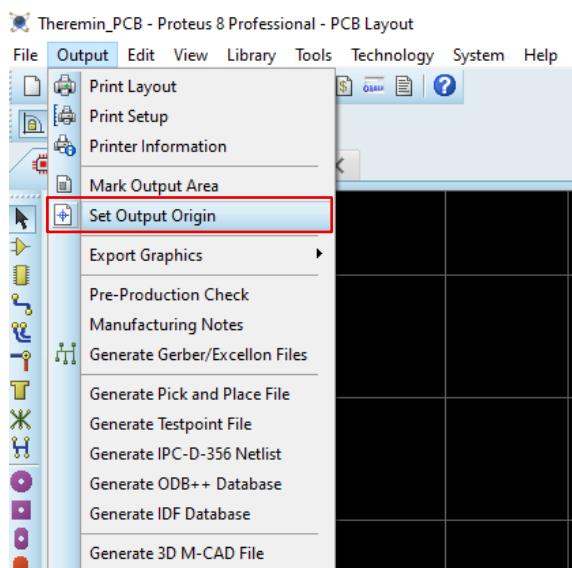
Name	Date modified	Type	Size
Theremin.drl	12/19/2025 12:07 AM	FlatCAM	2 KB
Theremin-Edge_Cuts.gbr	12/19/2025 12:07 AM	FlatCAM	1 KB
Theremin-F_Cu.gbr	12/19/2025 12:07 AM	FlatCAM	14 KB

Los archivos con extensión '.gbr' y '.drl' son los que se utilizarán con FlatCAM.

Proteus 8

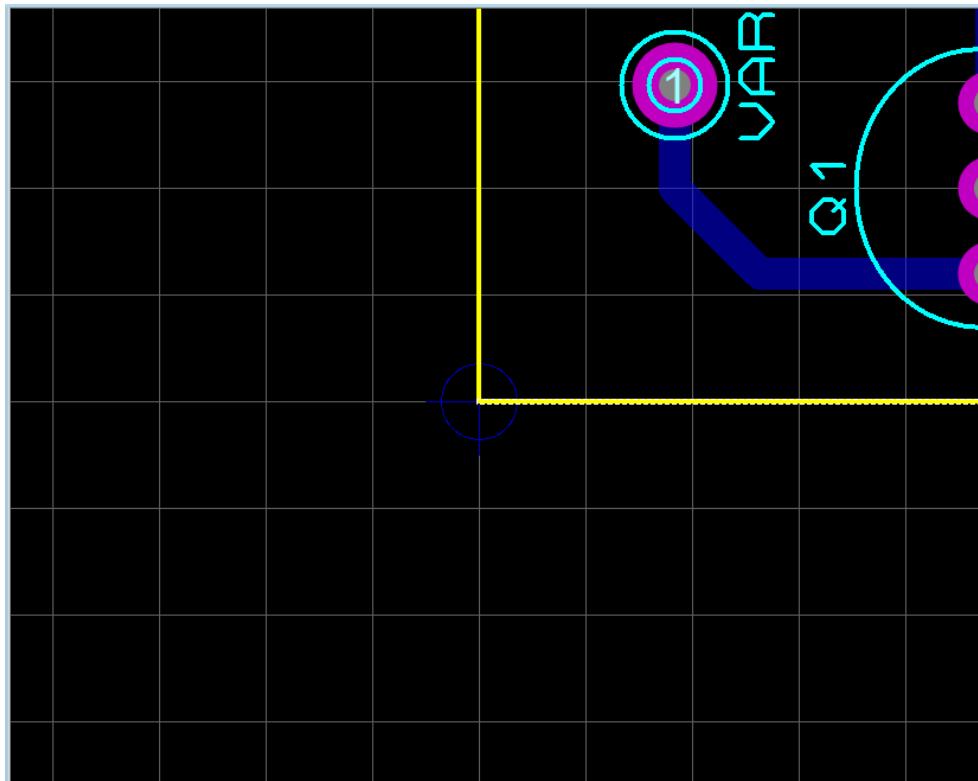


En primer lugar, para generar los archivos Gerber y Excellon en el PCB Layout de Proteus 8 Professional, es necesario definir el origen de salida de los archivos. Para ello, se debe acceder al menú superior [Output] y seleccionar la opción [Set Output Origin].

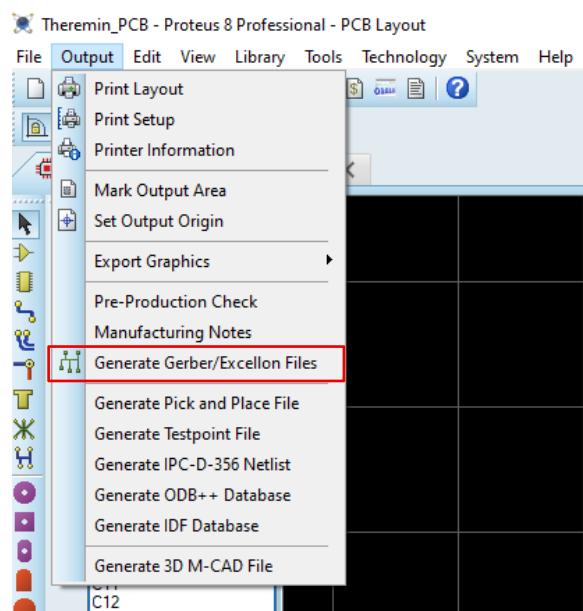


Tras seleccionar esta opción, se define el origen de referencia haciendo clic en la esquina inferior izquierda del contorno de la placa. En Proteus, el origen se utiliza para garantizar la coherencia geométrica entre archivos Gerber y Excellon, por lo que este paso es fundamental.

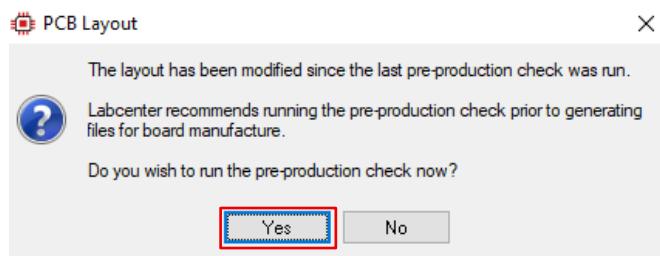
Importante: El origen de salida no debe definirse con separación respecto al borde de la placa. Cualquier desplazamiento, incluso mínimo, puede generar desalineaciones entre el cobre y los agujeros durante el mecanizado.



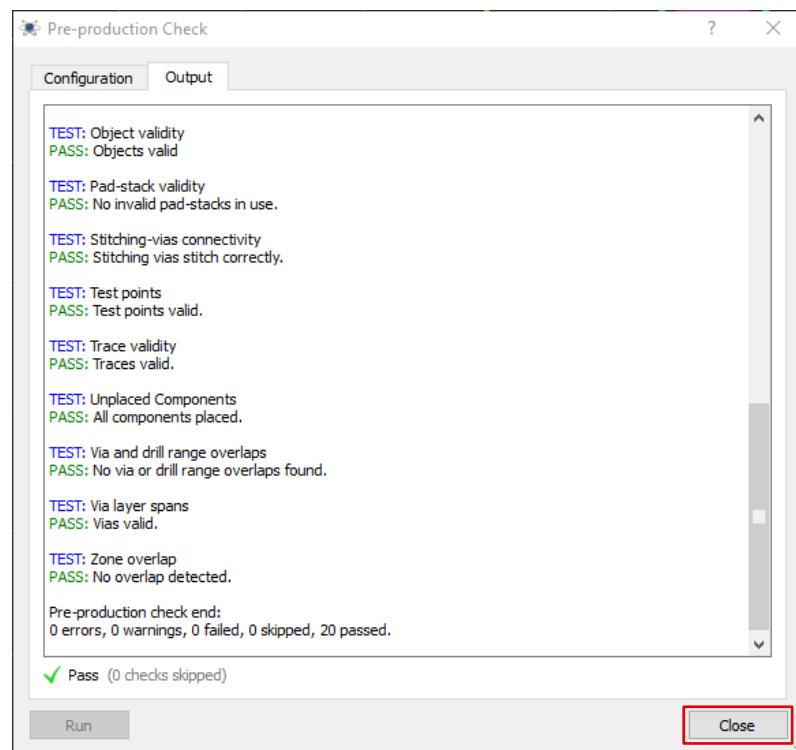
Con el origen ya definido, se puede ir al menú [Output] nuevamente y presionar [Generate Gerber/Excellon Files] para generar los archivos de mecanizado.



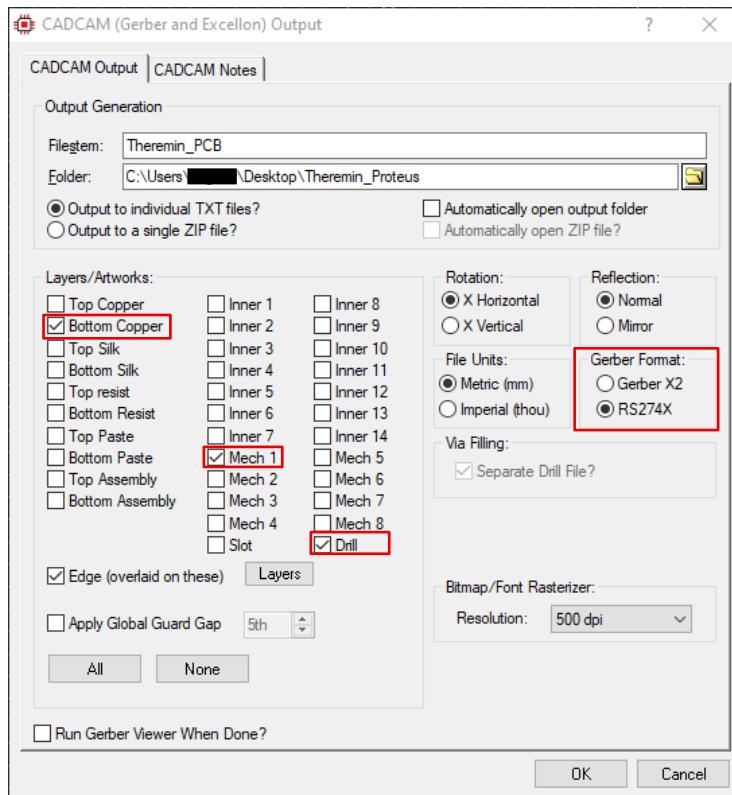
Esto abrirá una ventana de confirmación, en la cual se solicita verificar que no existan violaciones a las reglas de manufactura, tales como pads superpuestos u otros errores similares. Para continuar con el proceso, se debe seleccionar [Sí].



Al completar el chequeo de pre-producción, se presiona [Close].



En la ventana ‘CADCAM (Gerber and Excellon) Output’ se presentan las capas que se exportarán para el mecanizado.



En la imagen anterior se selecciona exclusivamente las capas de mecanizado:

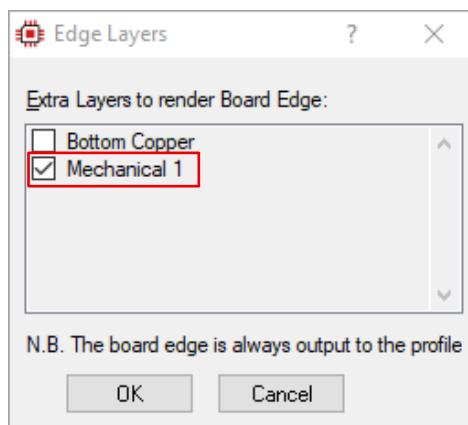
- Top Copper o Bottom Copper, dependiendo del diseño previo del PCB (Cara frontal o trasera)
- Mech 1 (Capa de contorno)
- Drill (Capa de perforado)

Además, se selecciona el formato de Gerber: RS274X (No confundir con el RS-274 de G-code)

Por último, se presiona el botón [Layers]:



En la ventana emergente, se selecciona exclusivamente la capa de “Mechanical 1”



Luego de presionar [OK], se generarán los archivos de mecanizado en formato Gerber y Excellon.

Name	Date modified	Type	Size
Theremin_PCB - CADCAM Bottom Copper.GBR	12/18/2025 11:42 PM	FlatCAM	7 KB
Theremin_PCB - CADCAM Drill.DRL	12/18/2025 11:42 PM	FlatCAM	2 KB
Theremin_PCB - CADCAM Drill.GBR	12/18/2025 11:42 PM	FlatCAM	14 KB
Theremin_PCB - CADCAM Mechanical 1.GBR	12/18/2025 11:42 PM	FlatCAM	1 KB
Theremin_PCB - CADCAM Netlist.IPC	12/18/2025 11:42 PM	IPC File	6 KB
Theremin_PCB - CADCAM READ-ME.TXT	12/18/2025 11:42 PM	Text Document	2 KB

Los archivos con extensión '.GBR' y '.DRL' destacados en rojo son los que se utilizarán en FlatCAM.

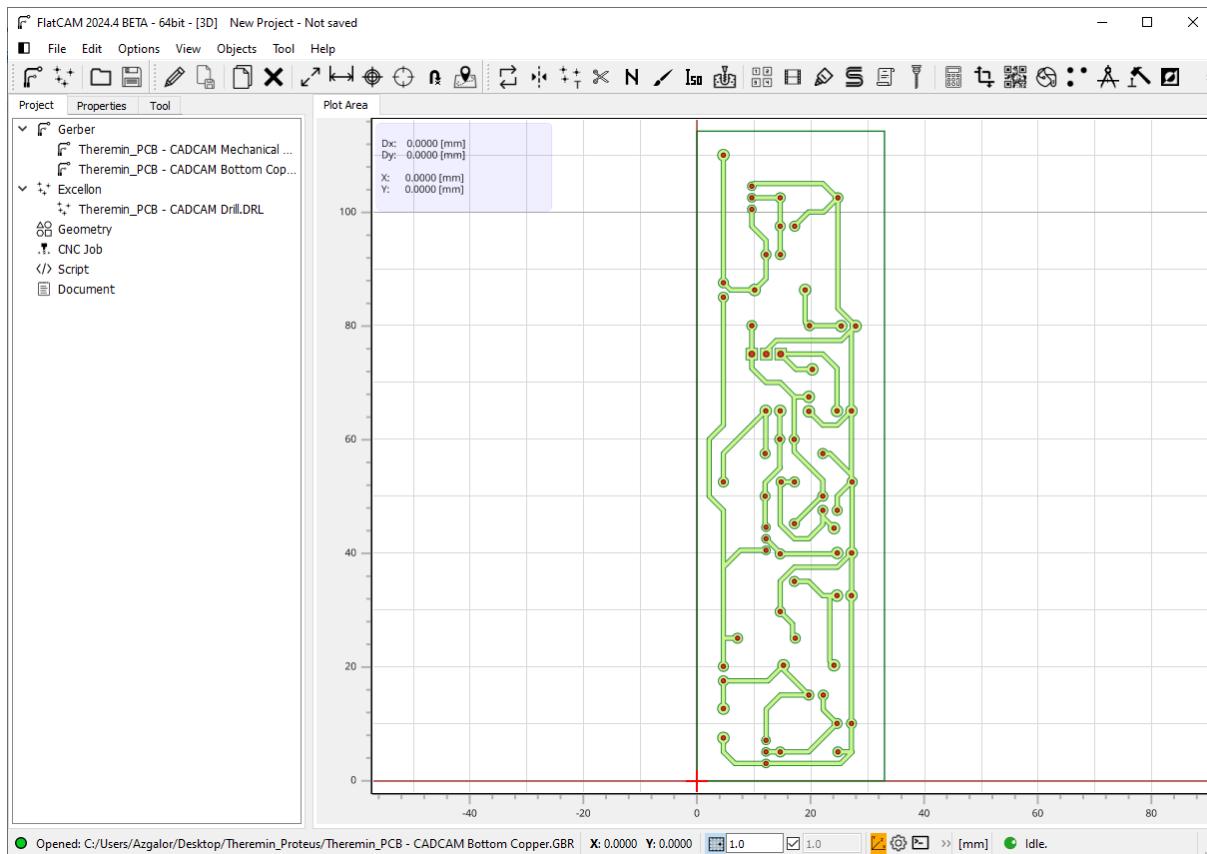
Importar Archivos Gerber y Excellon en FlatCAM

Una vez obtenidos los archivos Gerber y Excellon, se procede a la importación del diseño en FlatCAM.

Esta etapa utiliza, a modo de ejemplo, los archivos generados con Proteus. Para una explicación más detallada del proceso, consulte la sección “[Abriendo Archivos Gerber y Excellon en FlatCAM](#)”

Name	Date modified	Type	Size
Theremin_PCB - CADCAM Bottom Copper.GBR	12/18/2025 11:42 PM	FlatCAM	7 KB
Theremin_PCB - CADCAM Drill.DRL	12/18/2025 11:42 PM	FlatCAM	2 KB
Theremin_PCB - CADCAM Drill.GBR	12/18/2025 11:42 PM	FlatCAM	14 KB
Theremin_PCB - CADCAM Mechanical 1.GBR	12/18/2025 11:42 PM	FlatCAM	1 KB
Theremin_PCB - CADCAM Netlist.IPC	12/18/2025 11:42 PM	IPC File	6 KB
Theremin_PCB - CADCAM READ-ME.TXT	12/18/2025 11:42 PM	Text Document	2 KB

Estos archivos se importan en FlatCAM seleccionándolos y arrastrándolos directamente a la ventana de trabajo.

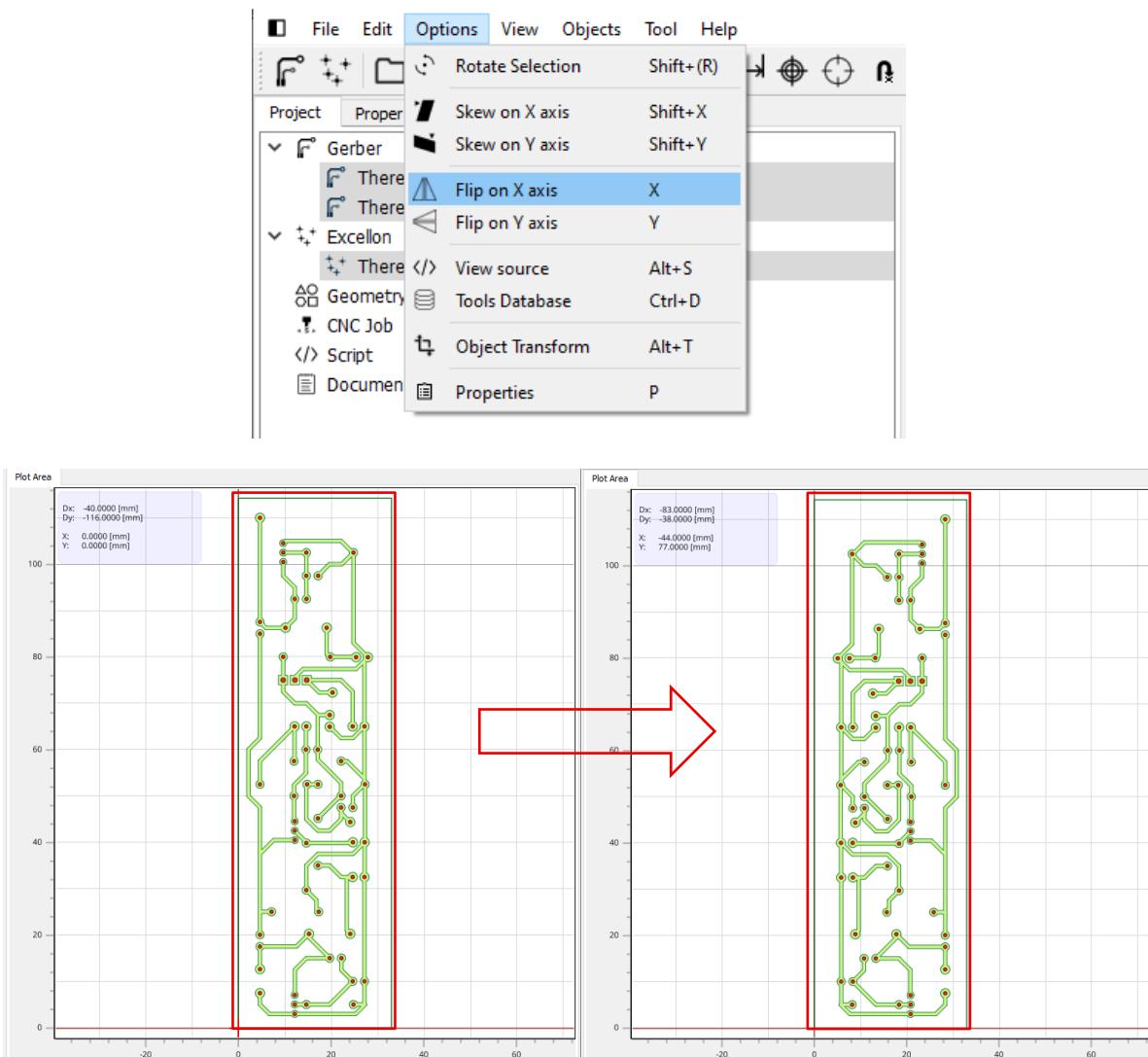


Nota al lector: Si se utilizan archivos Gerber y Excellon generados con KiCad, es necesario definir el origen del trabajo en FlatCAM. Para ello, consulte la sección [Definición del Origen](#)

Modo Espejo

En caso de requerir que los componentes THT queden ubicados en el lado opuesto al de las pistas, es necesario invertir el diseño respecto del eje X, aplicando una operación de *mirror* (espejado) en dicho eje.

Con todas las capas seleccionadas, se espeja en el eje X:



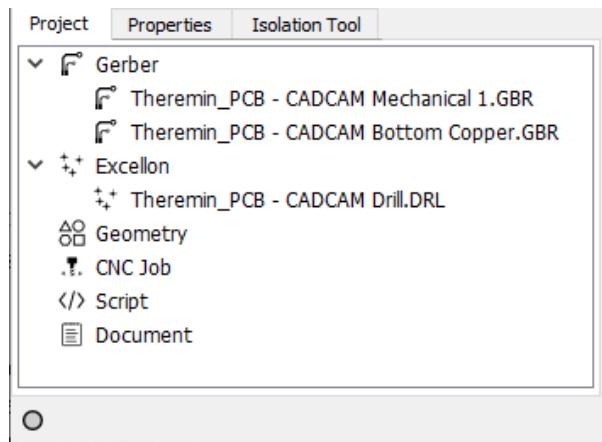
Cálculo de Trayectorias de Mecanizado

Nota al lector: Esta sección presenta el procedimiento general y no detalla en profundidad la obtención de los parámetros de fresado asociados.

Para una explicación más completa de este proceso, consulte las secciones:

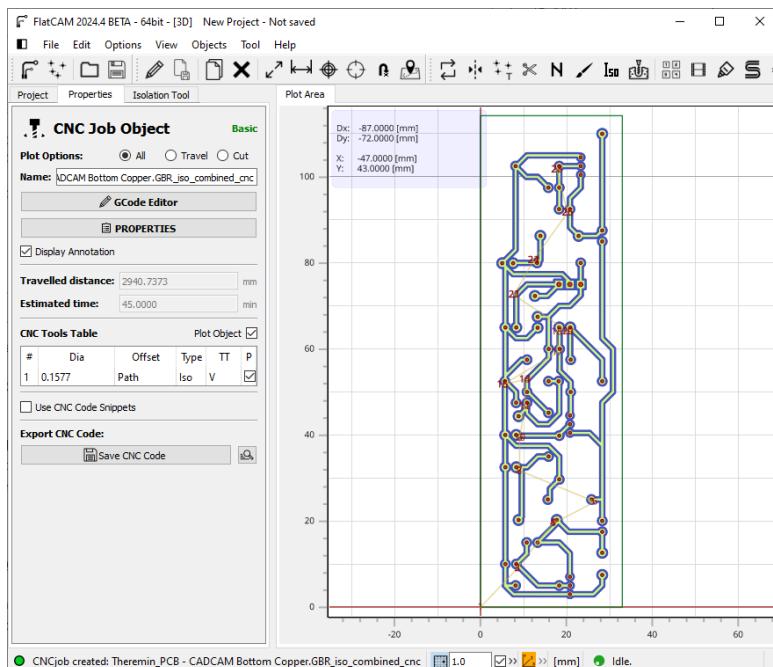
- [Isolation Routing \(Trayectoria de Aislamiento\)](#)
- [Drilling Tool \(Trayectoria de Perforación\)](#)
- [Cutout Tool \(Trayectoria de Corte de Contorno\)](#)

Como ejemplo, esta sección usa los archivos de Proteus.

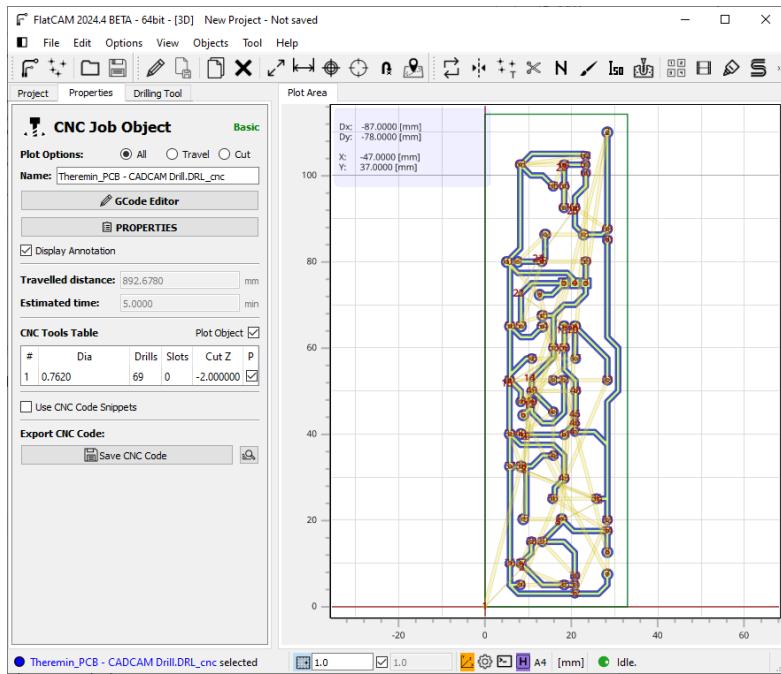


- CADCAM Mechanical corresponde al Gerber para la trayectoria de corte de contorno.
- CADCAM Bottom Copper corresponde al Gerber para la trayectoria de aislamiento.
- CADCAM Drill corresponde al Excellon para la trayectoria de perforación.

Primero, se genera la trayectoria de aislamiento.

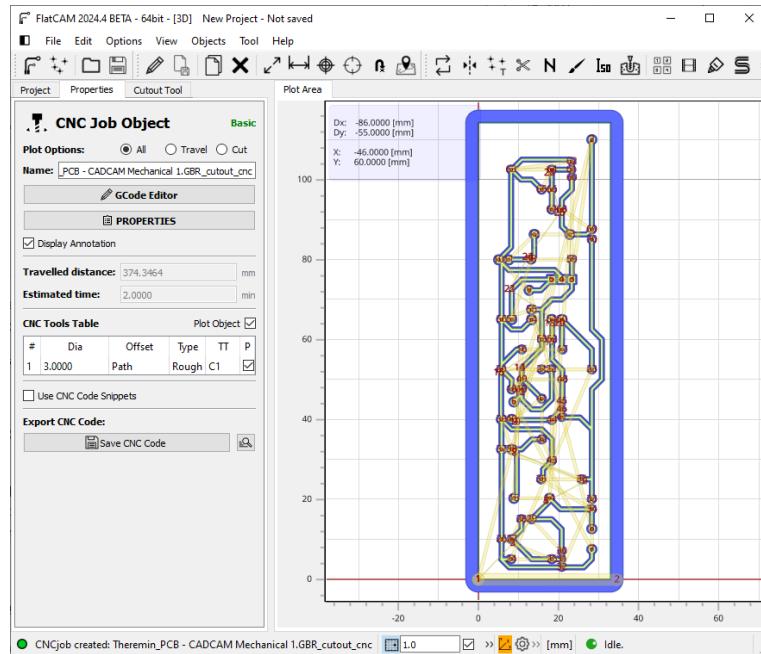


Segundo, se genera la trayectoria de perforación.



Nota al lector: Se recomienda disponer de archivos Excellon separados según el diámetro de broca requerido, especialmente cuando el diseño incluye múltiples valores de diámetro.

Por último, se genera la trayectoria de corte de contorno.



Resumen Operativo: Parámetros de Mecanizado

Trayectoria de Aislamiento

- Diámetro de la fresa cónica: 0,1 mm
- Graduación de la fresa cónica: 60°
- Avance de mesa: 60 mm/min
- Avance Z: 30 mm/min
- Corte Z: 0,05 mm

Trayectoria de Perforación

- Diámetro de la broca: 1 mm
- Avance Z: 160 mm/min
- Corte Z: -2,0 mm

Trayectoria de Corte de Contorno

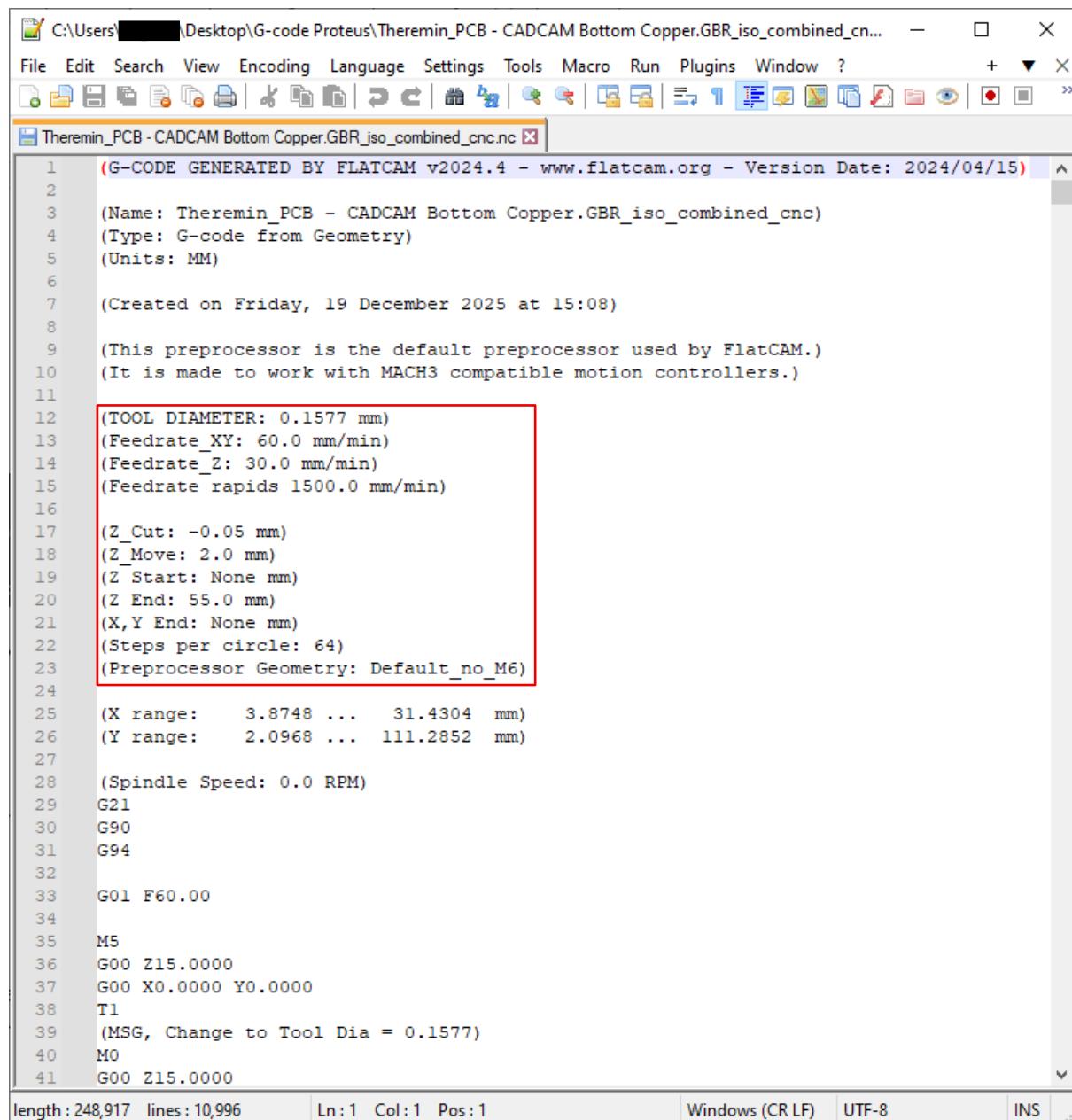
- Diámetro de la fresa de maíz: 3 mm
- Avance de mesa: 240 mm/min
- Avance Z: 120 mm/min
- Multi-depth: 0,3 mm
- Corte Z: -2,0 mm

Exportar G-code (ISO 6983-1 / RS-274)

Luego de generar las trayectorias de mecanizado, se exportan los archivos “.nc” (G-code).

Name	Date modified	Type	Size
Theremin_PCB - CADCAM Bottom Copper.GBR_iso_combined_cnc.nc	12/19/2025 ...	FlatCAM	244 KB
Theremin_PCB - CADCAM Drill.DRL_cnc.nc	12/19/2025 ...	FlatCAM	6 KB
Theremin_PCB - CADCAM Mechanical 1.GBR_cutout_cnc.nc	12/19/2025 ...	FlatCAM	3 KB

Demostración de la sintaxis del G-code correspondiente al CAD CAM Bottom Copper:



```
1 (G-CODE GENERATED BY FLATCAM v2024.4 - www.flatcam.org - Version Date: 2024/04/15)
2
3 (Name: Theremin_PCB - CADCAM Bottom Copper.GBR_iso_combined_cnc)
4 (Type: G-code from Geometry)
5 (Units: MM)
6
7 (Created on Friday, 19 December 2025 at 15:08)
8
9 (This preprocessor is the default preprocessor used by FlatCAM.)
10 (It is made to work with MACH3 compatible motion controllers.)
11
12 (TOOL DIAMETER: 0.1577 mm)
13 (Feedrate_XY: 60.0 mm/min)
14 (Feedrate_Z: 30.0 mm/min)
15 (Feedrate rapids 1500.0 mm/min)
16
17 (Z_Cut: -0.05 mm)
18 (Z_Move: 2.0 mm)
19 (Z_Start: None mm)
20 (Z_End: 55.0 mm)
21 (X,Y_End: None mm)
22 (Steps per circle: 64)
23 (Preprocessor Geometry: Default_no_M6)
24
25 (X range: 3.8748 ... 31.4304 mm)
26 (Y range: 2.0968 ... 111.2852 mm)
27
28 (Spindle Speed: 0.0 RPM)
29 G21
30 G90
31 G94
32
33 G01 F60.00
34
35 M5
36 G00 Z15.0000
37 G00 X0.0000 Y0.0000
38 T1
39 (MSG, Change to Tool Dia = 0.1577)
40 M0
41 G00 Z15.0000
```

length : 248,917 lines : 10,996 Ln:1 Col:1 Pos:1 Windows (CR LF) UTF-8 INS

En este archivo se puede verificar que los valores utilizados correspondan a la fresa que se empleará antes de continuar con el proceso. El parámetro ‘Tool Diameter’ (Diámetro de herramienta) puede variar en función de la profundidad de aislamiento, por lo que es normal que no indique exactamente 0,1 mm.

Materiales y Equipamiento Necesario

Antes de iniciar cualquier etapa del proceso descrito en este flujo de trabajo, el operador debe haber leído, comprendido y aplicado íntegramente las disposiciones establecidas en el capítulo [Riesgos y Medidas de Seguridad](#)

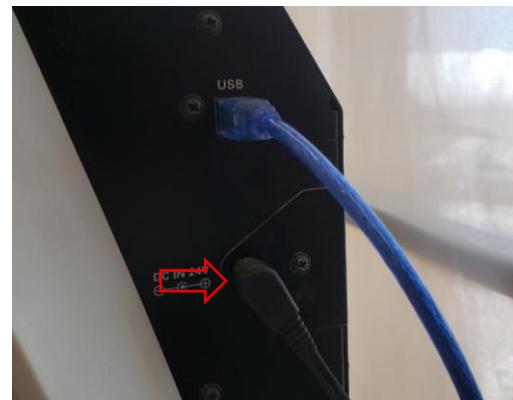
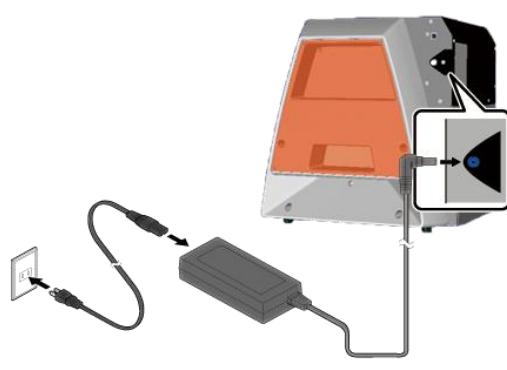
de este manual.

EQUIPAMIENTO PRINCIPAL	
Elemento	Descripción
CNC Roland SRM-20	Fresadora CNC de sobremesa
Computador de control	PC con FlatCAM, VPanel y drivers SRM-20
Sistema de aspiración con filtro HEPA	Aspiradora con filtro para polvo FR-4
Multímetro digital	Medición de continuidad para verificación de aislación de pistas
Placa PCB	FR-1/FR-2 o FR-4 comúnmente, de 1 oz/ft ² de espesor de cobre y 1,6 o 1,8 mm de grosor.
Cinta doble faz	Fijación de la placa sobre mesa de madera
Mascarilla N95 / KN95	Protección contra polvo generado de PCB (FR-1, FR-2, FR-4, CEM, etc.)
Delantal de laboratorio	Protección de ropa y piel

HERRAMIENTAS	
<ul style="list-style-type: none">• Fresa Cónica (V-bit)• Broca (Drill)• Fresa de Maíz (Corn End Mill)	

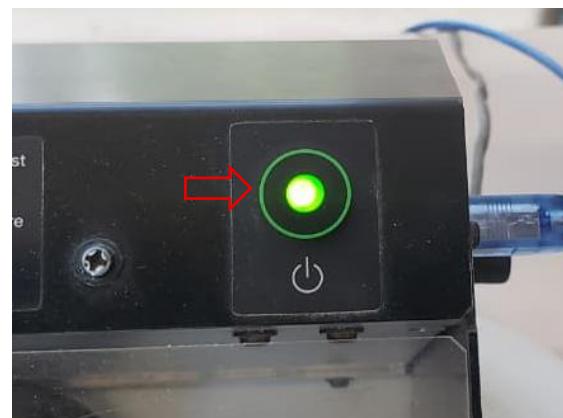
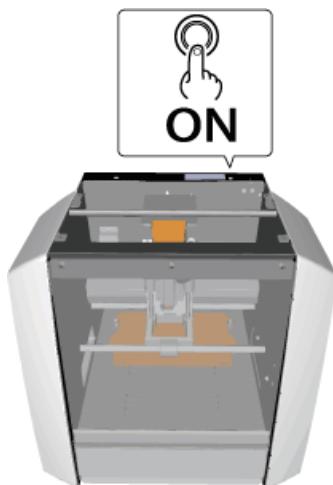
Preparación de la Roland SRM-20

1. Asegúrese que la máquina esté conectada al cable de alimentación y al adaptador de CA.

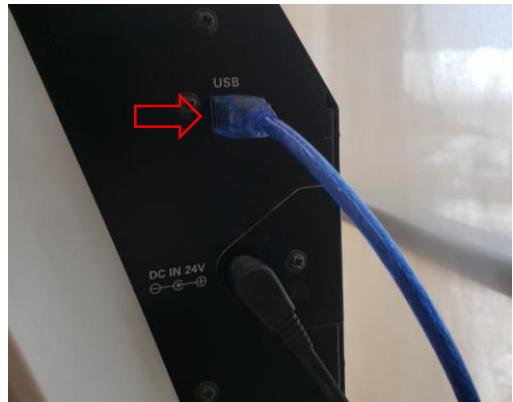
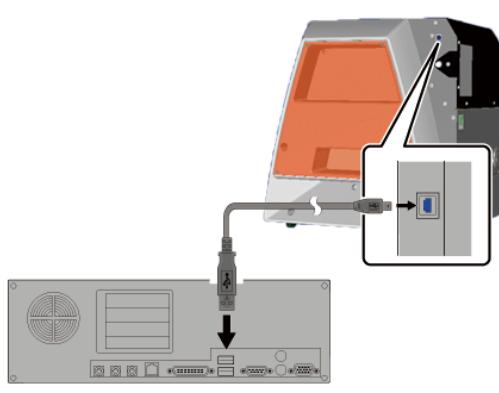


2. Pulse el botón de encendido. Se iniciarán las operaciones iniciales.

Cuando la luz verde deje de parpadear y permanezca encendida, la inicialización estará completa.



3. Conecte el dispositivo al ordenador mediante un cable USB.



Preparación de la placa

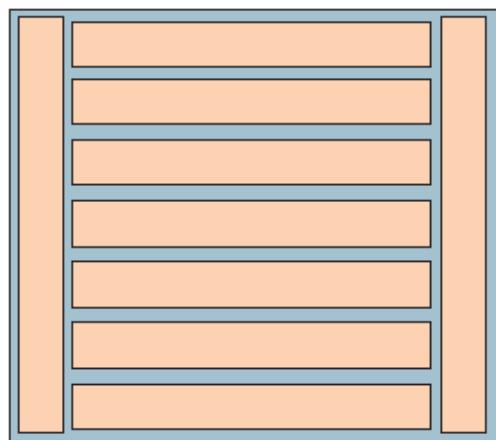
1. Placa de material FR-4 sin mecanizar.



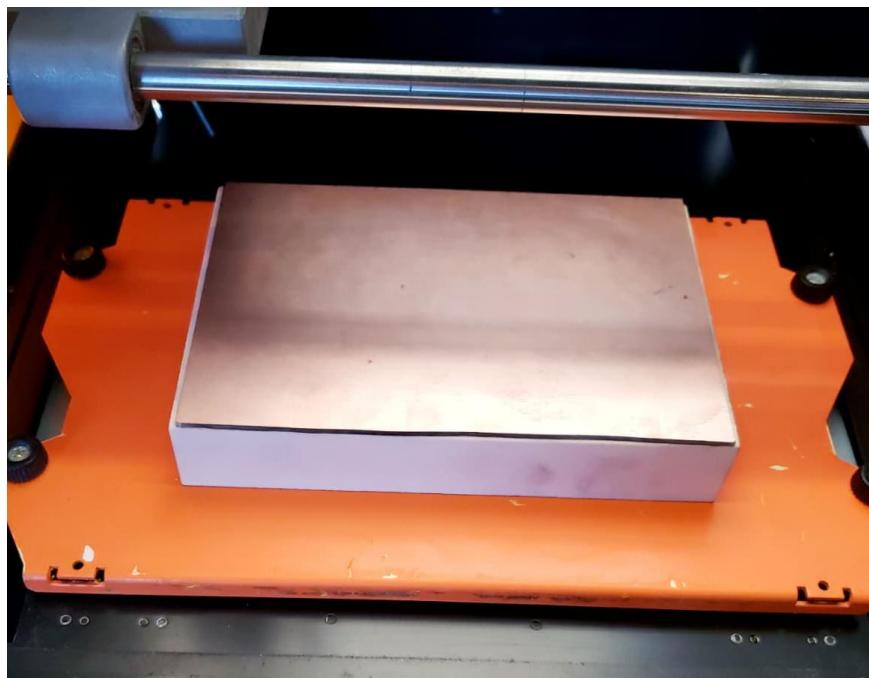
2. Cara posterior de la placa, correspondiente a la superficie donde se realizará la fijación.



3. Aplicación de cinta adhesiva de doble faz en la cara posterior de la placa, asegurando una distribución uniforme para garantizar una correcta sujeción.



4. Placa FR-4 correctamente fijada sobre la base de madera instalada en la fresadora Roland SRM-20



Instalación de la Herramienta de Corte y Definición de Ceros

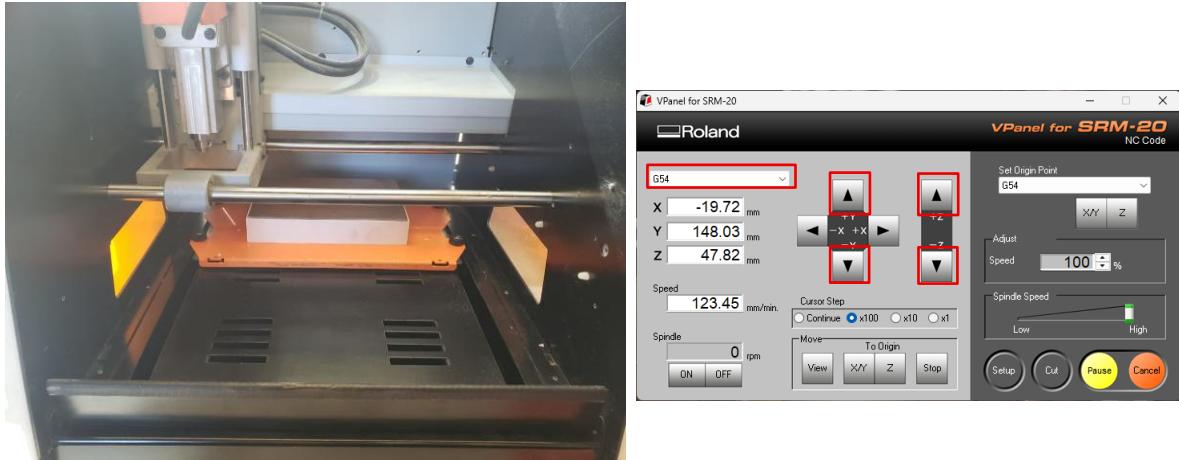
⚠ PRECAUCIÓN: No toque la punta de la herramienta de corte con los dedos. Podría sufrir lesiones.

Antes de definir los ceros de la máquina, se debe instalar la herramienta de corte correspondiente, considerando el orden del flujo de trabajo del mecanizado de PCBs, el cual se compone de las siguientes etapas:

1. Aislación de pistas
2. Perforación
3. Corte de contorno

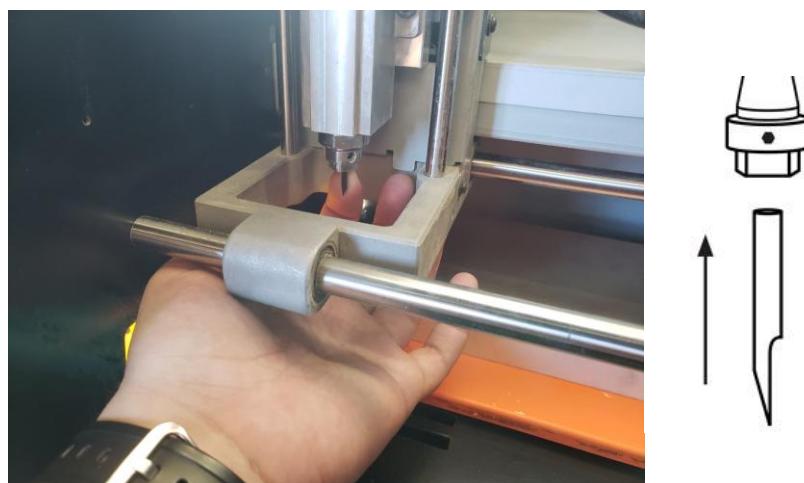
En consecuencia, la primera herramienta a instalar corresponde a la fresa cónica utilizada para la aislación de pistas.

1. Eleve el cabezal hasta el tope de su recorrido con las flechas en la ventana del VPanel. Mueva el cabezal hasta el fondo para facilitar el acceso.

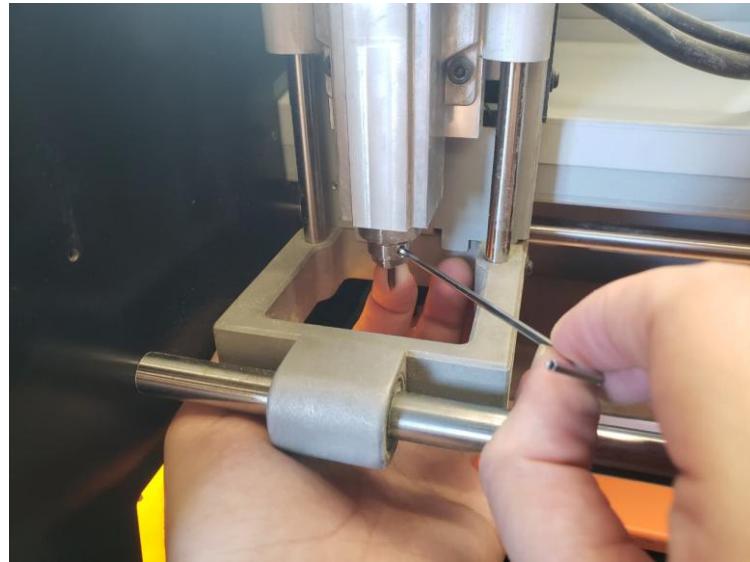


Nota al lector: En la ventana de VPanel, arriba de los indicadores XYZ, debe seleccionar G54.

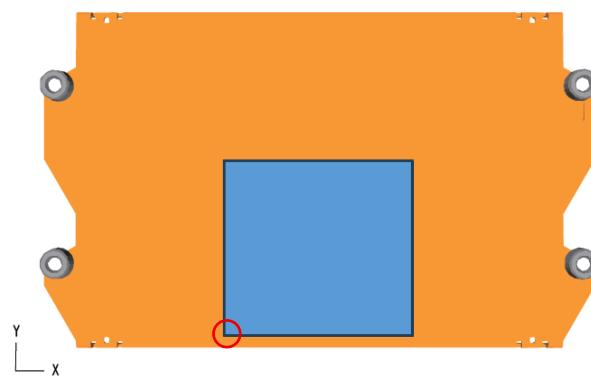
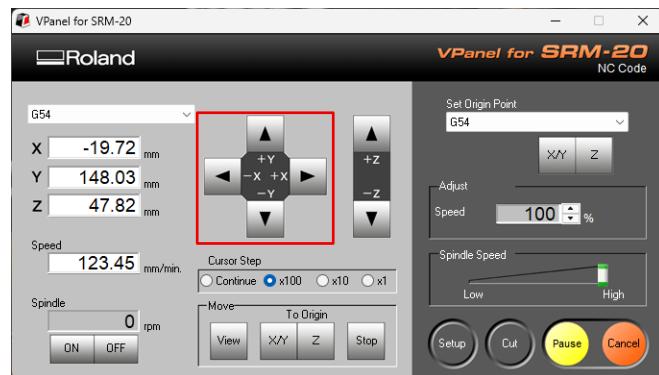
2. Gire la pinza hasta que el tornillo de fijación apunte hacia usted. Sujete la fresa entre dos dedos y deslícela en la pinza, alineando el borde plano de la fresa a la derecha, como se muestra.



3. Apriete el tornillo de fijación del portaherramientas mientras sostiene la fresa plana, casi al ras del portaherramientas.



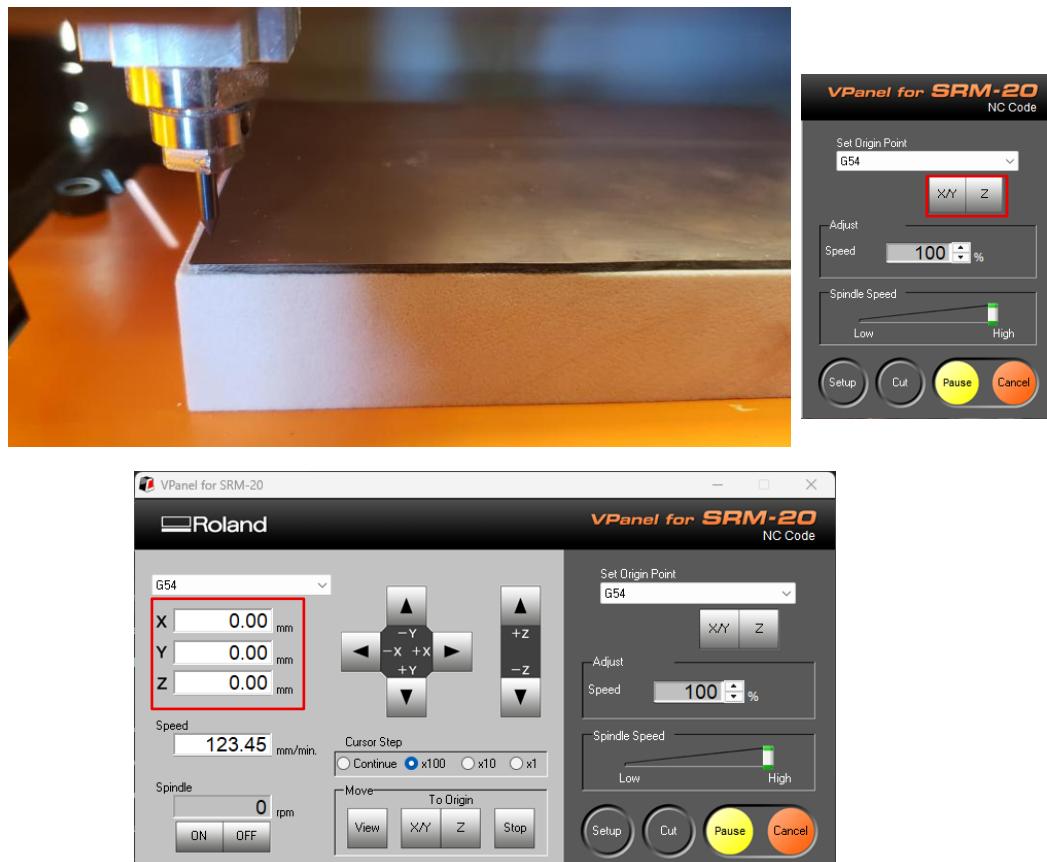
4. Mediante VPanel, mueva en los ejes X/Y la mesa para posicionar el cabezal en la esquina inferior izquierda de la placa.



Nota al lector: Deje un margen extra dentro de la placa para posicionar el cabezal. No debe posicionarse el cabezal fuera del perímetro de la placa

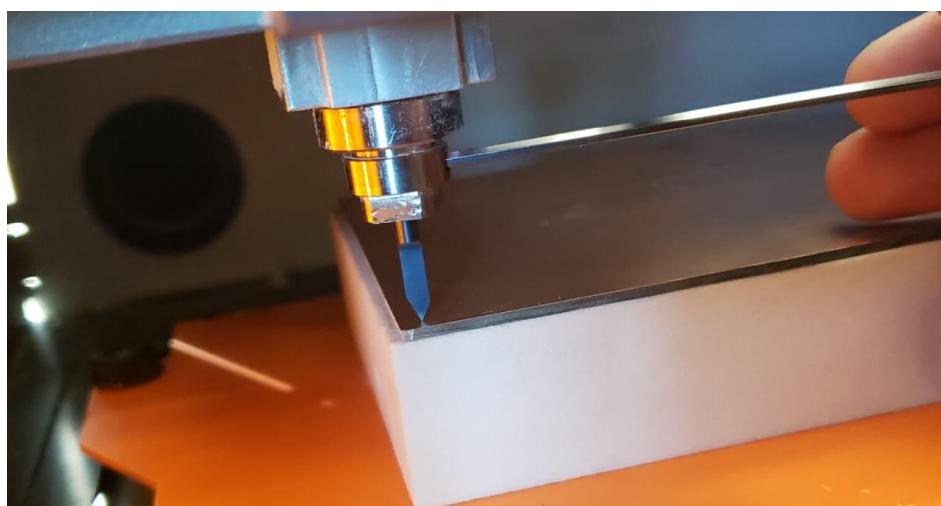
5. Baje el cabezal a través de VPanel hasta que la fresa casi toque la pieza de trabajo. Haga clic en el botón [X/Y] y [Z] para establecer los puntos de origen.

Confirme que la lectura de la posición XYZ haya cambiado a 0,000.



6. Afloje el tornillo de fijación y la fresa descenderá hasta tocar la superficie de la pieza de trabajo (sostenga la fresa mientras la suelta para no dejarla caer bruscamente sobre la superficie).

Apriete el tornillo de fijación nuevamente para asegurar la herramienta.



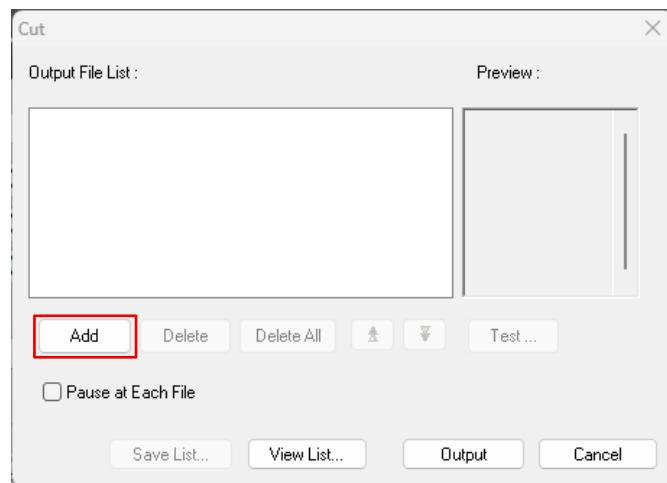
Cargar G-code en VPanel

Una vez definidos los ceros, se procede a la carga del archivo G-code en VPanel. Antes de ejecutar el trabajo, se recomienda revisar visualmente los parámetros principales y confirmar que la herramienta instalada coincide con la definida en el archivo CAM.

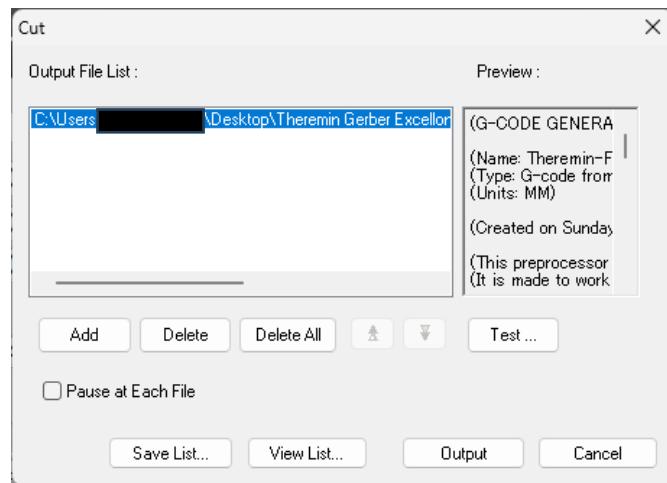
1. En VPanel, apretar el botón [Cut]



2. En la ventana emergente, apretar [Add] para agregar el código ".nc" correspondiente.



3. Vista preliminar antes de ejecutar el mecanizado.

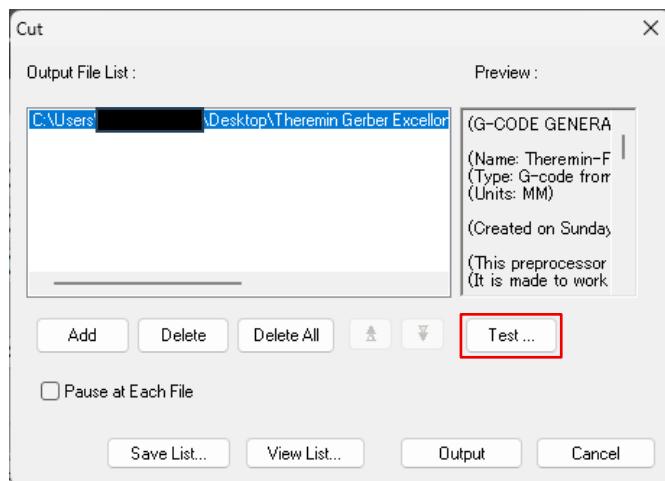


Ejecución del Mecanizado

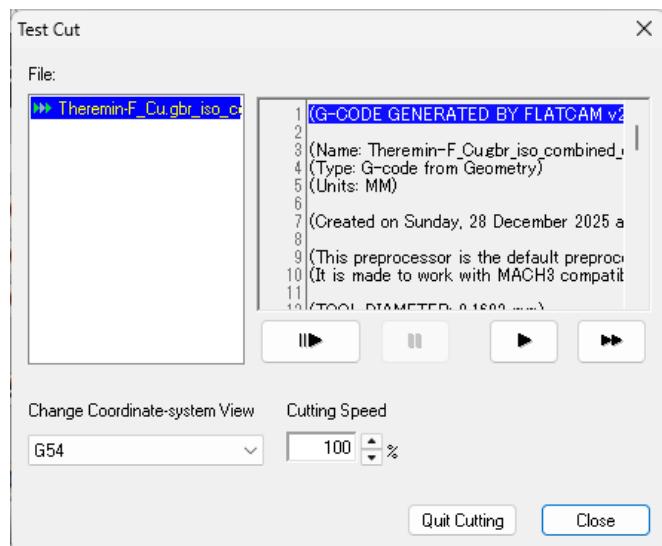
El siguiente paso es la ejecución del mecanizado. Durante esta etapa, la máquina realiza los movimientos de aislamiento, perforado o corte según lo programado.

Aislación de Pistas

1. Ejecutar el mecanizado mediante VPanel. Para ello, apretar el botón [Test....].

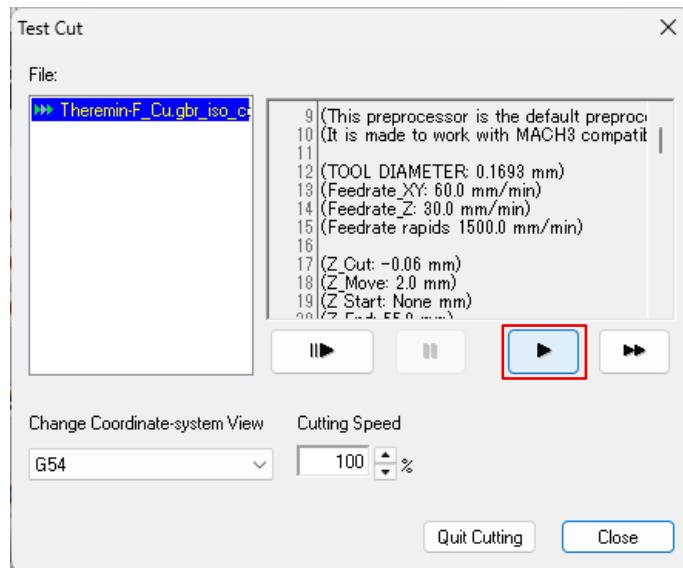


2. En la ventana “Test Cut”, se mostrará el código ‘.nc’ a ejecutar. Se recomienda confirmar los parámetros de fresado en esta ventana antes de ejecutar.

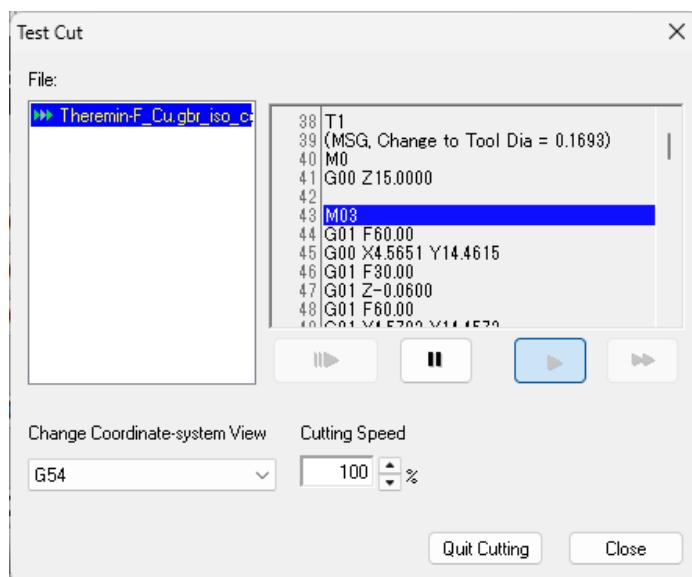


```
9 (This preprocessor is the default preproc)
10 (It is made to work with MACH3 compatil
11
12 (TOOL DIAMETER: 0.1693 mm)
13 (Feedrate_XY: 60.0 mm/min)
14 (Feedrate_Z: 30.0 mm/min)
15 (Feedrate rapids 1500.0 mm/min)
16
17 (Z Cut: -0.06 mm)
18 (Z_Move: 2.0 mm)
19 (Z_Start: None mm)
20 (Z_End: 55.0 mm)
```

3. Al confirmar que los parámetros de fresado son correctos según lo calculado, ejecutar el código.



El código se empezará a ejecutar, cada paso lógico es destacado en azul mediante avanza la Roland SRM-20.

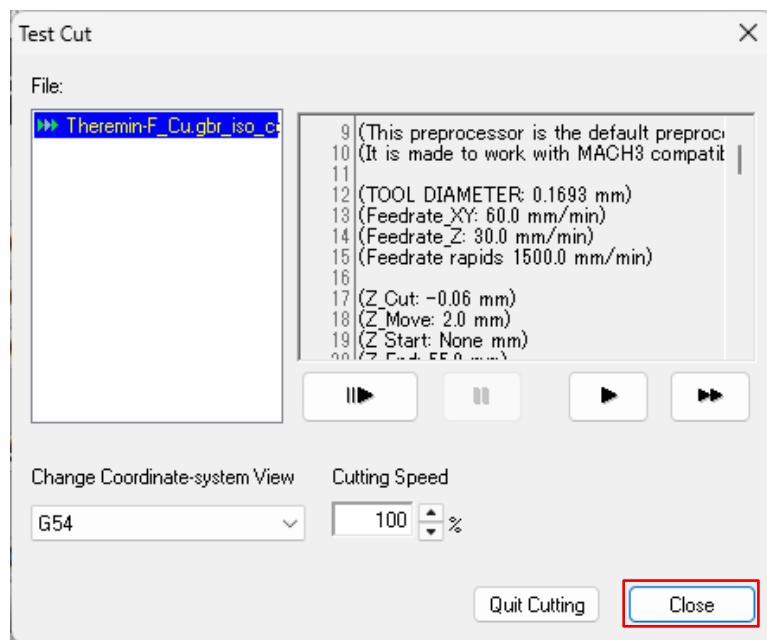


4. Vista de la Roland SRM-20 durante el proceso de fresado.

⚠ PRECAUCIÓN: Durante el proceso de fresado, no abra la puerta de la máquina, ya que esto interrumpe automáticamente el proceso.



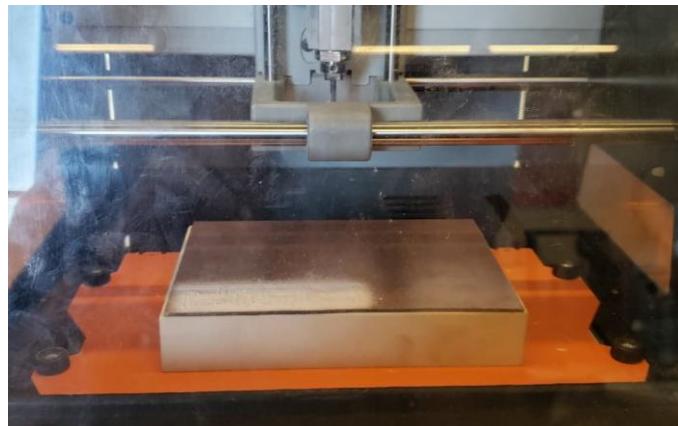
5. Una vez que la Roland SRM-20 haya finalizado el proceso de fresado, cierre la ventana de corte (*Test Cut*) y vuelva al menú principal de VPanel.



6. En la ventana principal de VPanel, presione el botón [View] para desplazar la placa a una posición de acceso más cómoda. Durante este movimiento, mantenga la puerta cerrada para evitar la cancelación del comando.

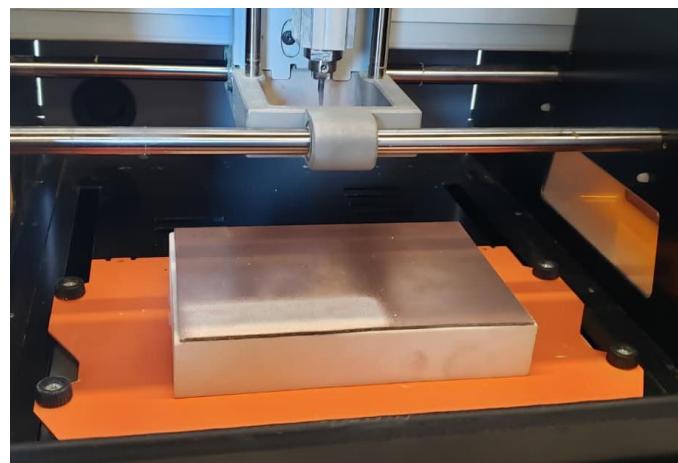


Esto moverá la mesa al frente:



En este paso, se puede abrir la puerta para seguir con los pasos de limpieza e inspección de placa.

⚠️ SEGURIDAD: Uso obligatorio de mascarilla KN95 antes de abrir puerta de la Roland SRM-20 luego de fresar la placa.



7. Limpiar placa para inspeccionar pistas.

⚠ SEGURIDAD: Mantener mascarilla KN95 durante la limpieza y manipulación de residuos.

Limpie la placa para permitir la inspección de las pistas. Para ello, pase una brocha suavemente sobre la superficie mientras se aspiran los residuos con una aspiradora con filtro HEPA.



8. Verifique la continuidad con un multímetro.

A continuación, compruebe la continuidad entre las pistas y el cobre restante, con el fin de confirmar que las pistas han quedado correctamente aisladas del resto de la placa.



En caso de detectar pistas que no hayan quedado correctamente aisladas, verifique que no existan restos de cobre provocando cortocircuitos entre planos, pasando nuevamente la brocha entre las pistas.

Si, tras la limpieza, el cortocircuito persiste, consulte el capítulo de **Checklist de Errores Comunes Durante el Mecanizado CNC de PCBs**

Perforación de Placa PCB

Una vez completada correctamente la aislación de las pistas, se procede a la perforación de la placa. Para ello, cierre nuevamente la puerta de la Roland SRM-20 y continúe con los pasos descritos a continuación.

1. Retirar herramienta anterior.

Para continuar con los pasos de perforación, retire primero la herramienta instalada. Sostenga la herramienta suavemente para evitar que caiga bruscamente y se rompa, mientras afloja el tornillo de fijación con la llave Allen.



2. Instalar broca de perforación.

Con el tornillo de fijación aflojado, inserte la broca de perforación y ajuste nuevamente el tornillo de fijación utilizando la llave Allen.



3. Volver al origen X/Y.

Una vez instalada la herramienta de perforación, cierre la puerta de la Roland SRM-20 y presione el botón [X/Y] en VPanel para regresar al origen de los ejes X/Y.



4. Ajustar eje Z para redefinir origen.

Luego de volver al origen X/Y, bajar con VPanel en el eje Z hasta llegar muy cerca de tocar la placa.

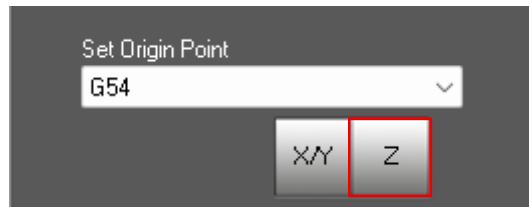


Para lograr una mayor precisión, ajuste el parámetro *Cursor Step*, el cual define el desplazamiento asociado a cada clic del movimiento en el eje Z. El valor x1 corresponde al ajuste más lento y preciso, mientras que *Continue* es el modo de desplazamiento más rápido.

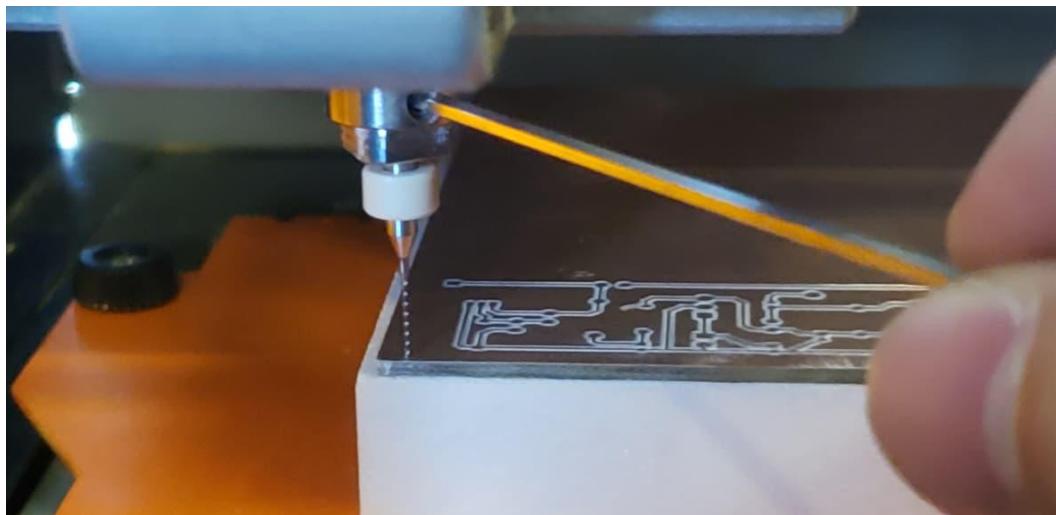
Asegúrese de no tocar con la broca aún la superficie de la placa.



5. Para redefinir el origen en el eje Z, en VPanel, apretar el botón [Z] debajo de *Set Origin Point*.

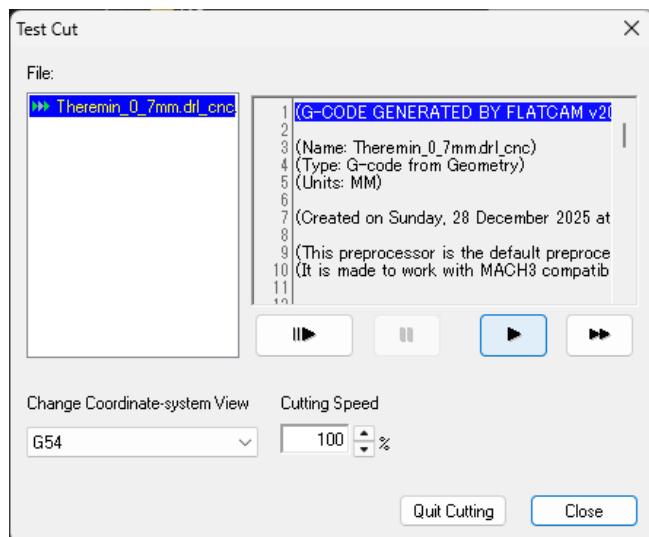


6. Luego, ajustar la broca para que haga contacto con la placa.



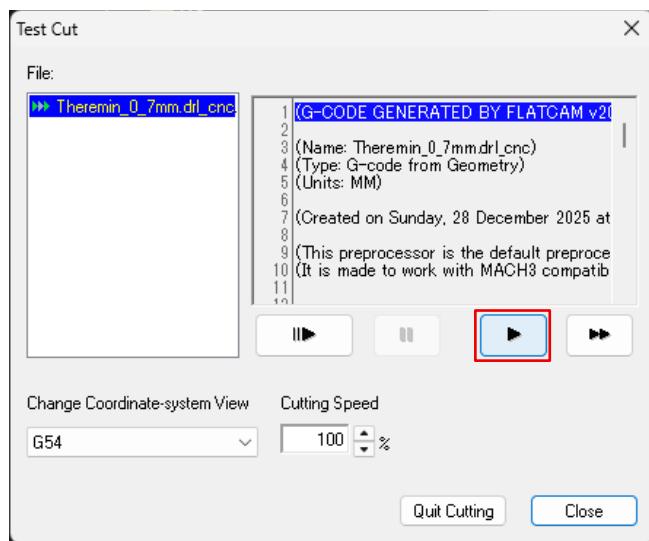
7. Cargar código '.nc' de perforación

El proceso de carga de código es el mismo que el utilizado para la aislación de pistas. Únicamente se debe eliminar el código anterior de la ventana Test Cut para evitar confusiones y cargar el archivo correspondiente a los drills.

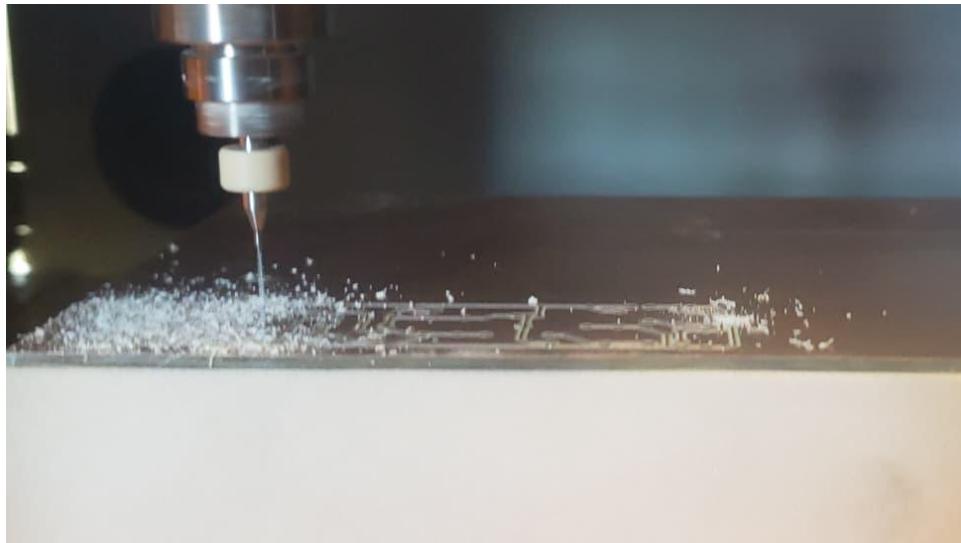


Nota al lector: Siempre confirme que los parámetros de mecanizado sean consistentes con la broca que se está utilizando.

8. Iniciar proceso de perforación de la placa.



Vista de la Roland SRM-20 durante el proceso de perforación:



Una vez que la Roland SRM-20 haya finalizado el proceso de mecanizado, cierre nuevamente la ventana de corte (*Test Cut*) y vuelva al menú principal de VPanel.

9. En la ventana principal de VPanel, presione el botón [View] para desplazar la placa a una posición de acceso más cómoda. Durante este movimiento, mantenga la puerta cerrada para evitar la cancelación del comando.

⚠ SEGURIDAD: Uso obligatorio de mascarilla KN95 antes de abrir puerta de la Roland SRM-20 luego de mecanizar la placa.



10. Una vez desplazada la mesa hacia el frente y abierta la puerta de la Roland SRM-20, limpie la viruta generada durante el proceso utilizando una escobilla suave y aspiración con una aspiradora con filtro HEPA.

⚠ SEGURIDAD: Mantener mascarilla KN95 durante la limpieza y manipulación de residuos.



Nota al lector: Si se tienen más archivos drill de perforación, repetir los pasos anteriores con la broca del diámetro correspondiente.

Corte de Contorno del PCB

Una vez finalizado correctamente el proceso de perforación de la placa, se procede al corte del contorno del PCB.

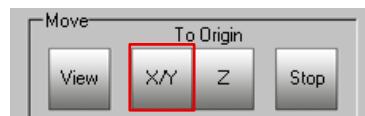
1. Instalación de la fresa de maíz.

Después de retirar la herramienta anterior, tal como se describió en los pasos previos de aislación y perforación del PCB, instale la fresa de maíz.

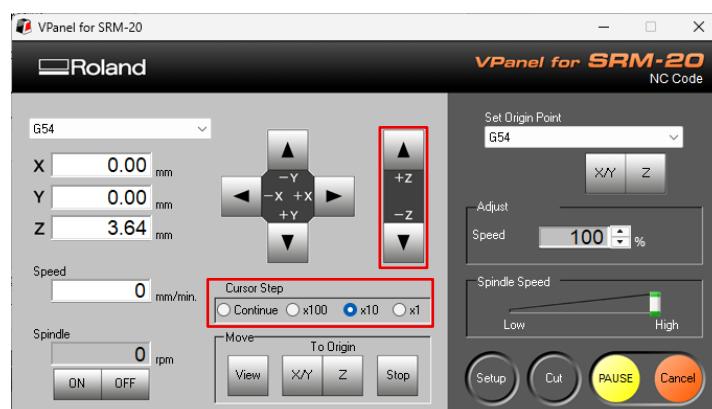


2. Redefinición de ceros del eje Z

Al haber instalado la fresa de maíz, se cierra la tapa de la Roland SRM-20 y se regresa al origen X/Y mediante el VPanel.



Luego, se ajusta el eje Z al igual que en los pasos de perforación. Sin tocar la placa y teniendo cuidado de no pasarse para evitar dañar la placa o la Roland SRM-20.



3. En VPanel, presione el botón [Z] ubicado bajo *Set Origin Point* para establecer los ceros del eje Z.

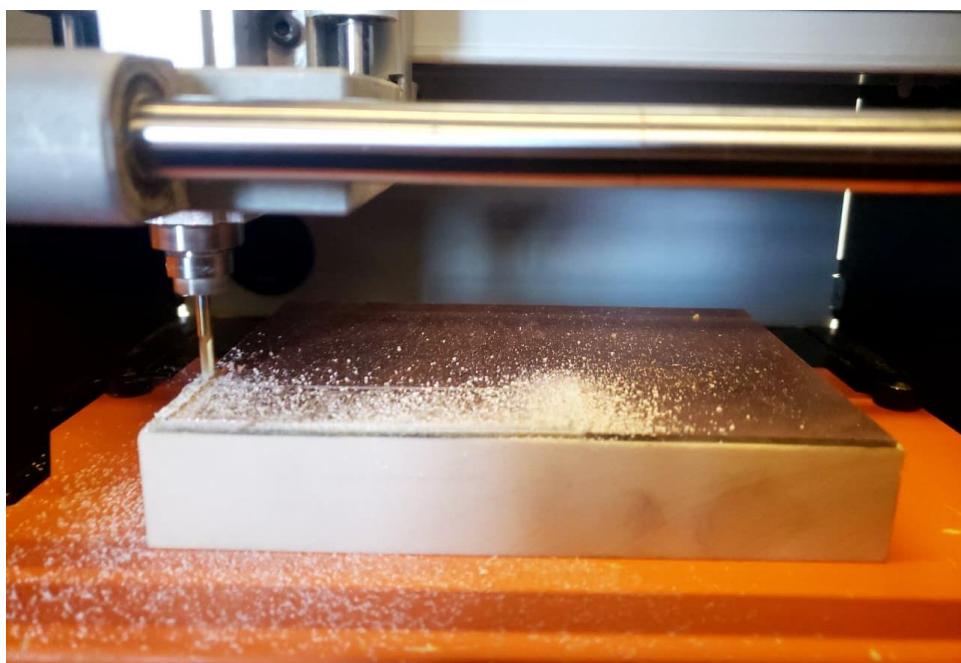


4. A continuación, suelte la herramienta de forma controlada mientras la sostiene para evitar que caiga bruscamente, hasta que toque la placa PCB. Una vez posicionada, apriete el tornillo de fijación para asegurarla correctamente, al igual que en los pasos de aislación y perforación de pistas.
5. Ejecución de código '.nc' de corte de contorno.

Una vez definidos los ceros del eje Z y ajustada la herramienta sobre la placa, se puede ejecutar el código de corte de contorno para retirar la placa del resto del sustrato.

Desde el VPanel, se abre la ventana de corte y se elige el archivo correspondiente al corte de contorno para ejecutar, al igual que en los pasos de aislación de pistas y perforación de placa.

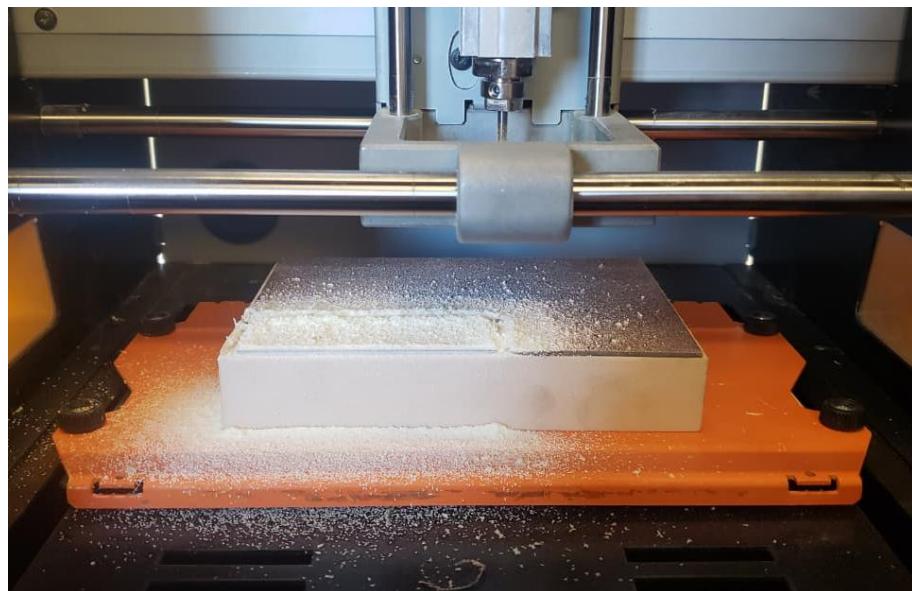
Esto iniciará el proceso de corte de contorno.



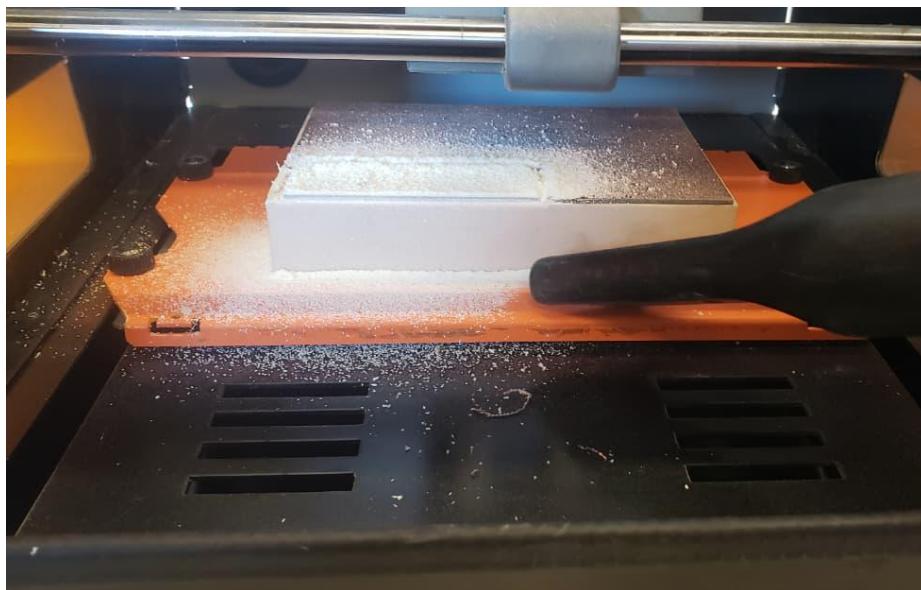
6. Visualización de corte de contorno

Antes de mover la mesa hacia adelante mediante VPanel, abrir la puerta de la Roland SRM-20 para poder limpiar el exceso de viruta que se generó en el proceso.

⚠ SEGURIDAD: Mantener mascarilla KN95 durante la limpieza y manipulación de residuos.



7. Limpieza preliminar de placa.



Una vez finalizado el proceso de limpieza preliminar de la placa, presione el botón [View] en VPanel para desplazar la mesa a una posición más cómoda de trabajo e inspección, y complete la limpieza utilizando una escobilla y aspiración.

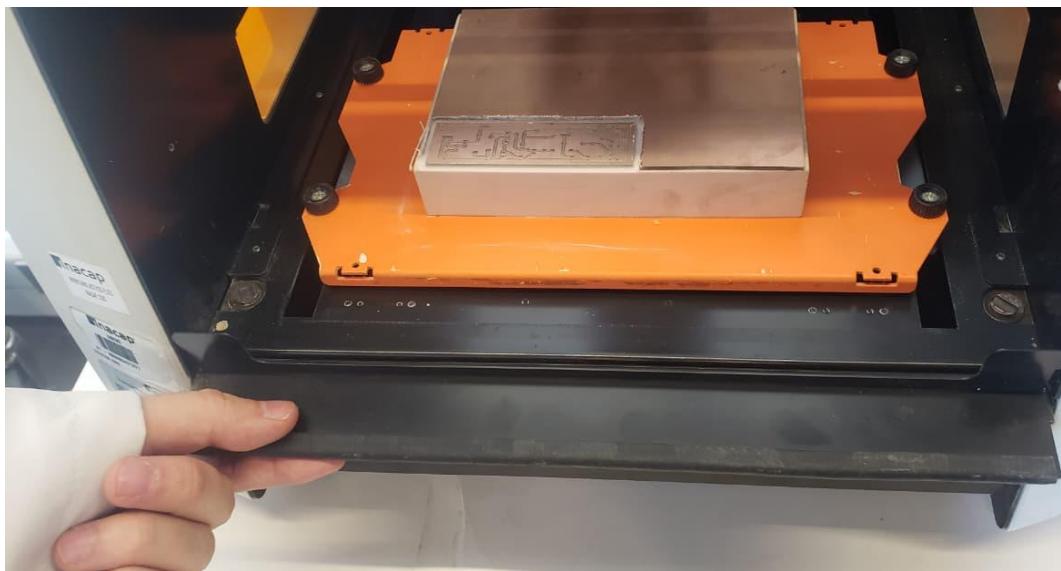


Retiro de la Placa PCB Mecanizada

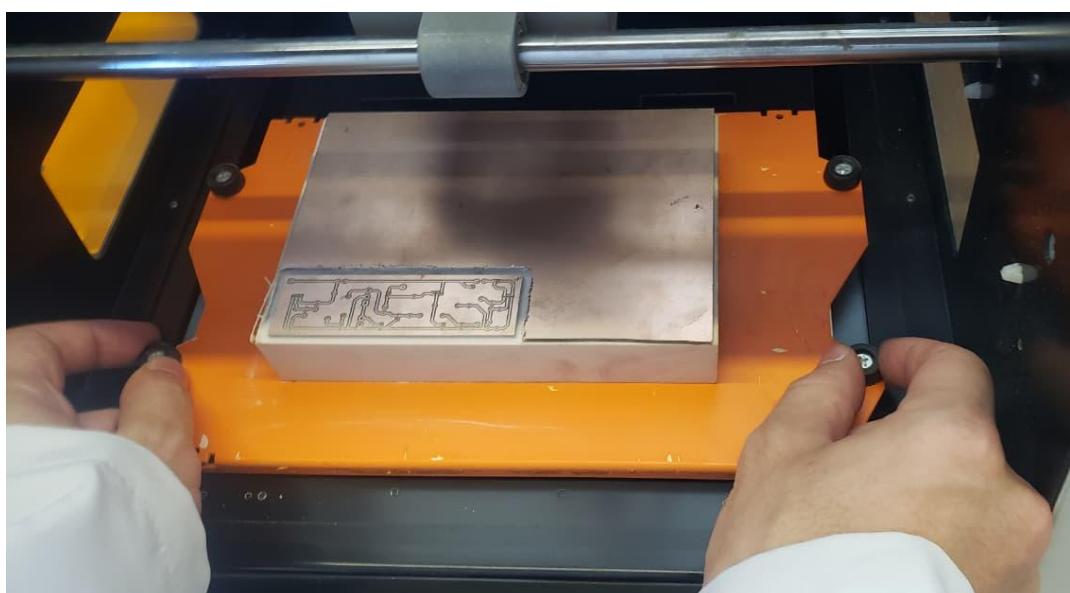
Una vez terminado todos los procesos de mecanizado, se procede a retirar la placa del resto del sustrato ya separado, gracias al proceso de corte de contorno.

Nota al lector: Recuerde limpiar la viruta con una escobilla mientras se aspira con una aspiradora con filtro HEPA, antes de continuar con los siguientes pasos.

1. Con la puerta de la Roland SRM-20 abierta, abra el separador frontal.



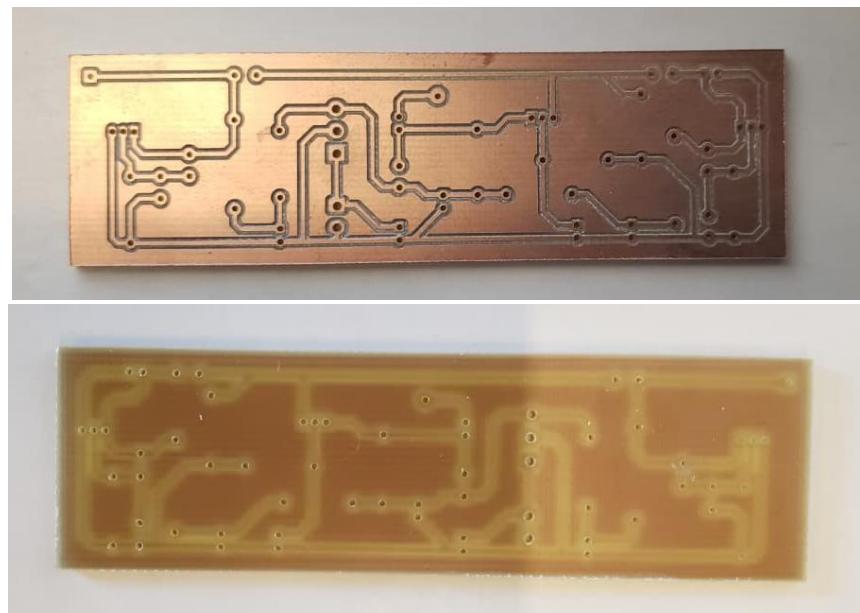
2. Afloje los pernos de la cama de la Roland SRM-20 y retire la cama de trabajo.



3. Con la cama ya retirada de la Roland SRM-20, utilice una espátula para retirar la placa mecanizada.



Con esto se da por completado el proceso de mecanizado, dejando la placa lista para su uso:



A continuación, se muestra cómo limpiar la Roland SRM-20 de forma segura.

Limpieza Segura de la Roland SRM-20

Finalmente, se realiza una limpieza de la máquina y del área de trabajo, retirando residuos de cobre y polvo. Este paso es fundamental para mantener la SRM-20 en condiciones óptimas para futuros trabajos.

⚠️ SEGURIDAD: Mantener el uso de mascarilla KN95 durante toda el procedimiento de limpieza.
Retirar únicamente cuando la puerta de la SRM-20 esté cerrada y el área se encuentre limpia.

1. Limpie la viruta acumulada debajo de la cama de la Roland SRM-20, desprendiéndola suavemente con una escobilla y aspirándola con una aspiradora con filtro HEPA.



2. Una vez limpiado el interior de la Roland SRM-20, se sube el separador frontal y se retira la bandeja para botar los residuos acumulados en un basurero.

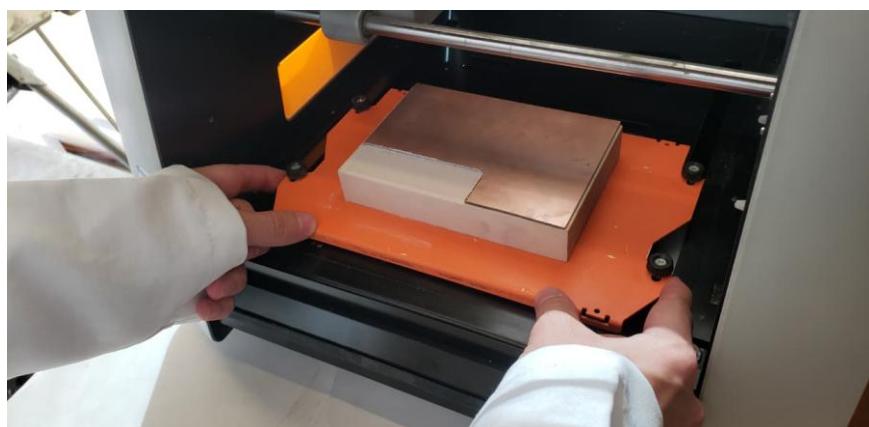


No olvidar soltar los residuos con una escobilla sobre el basurero.

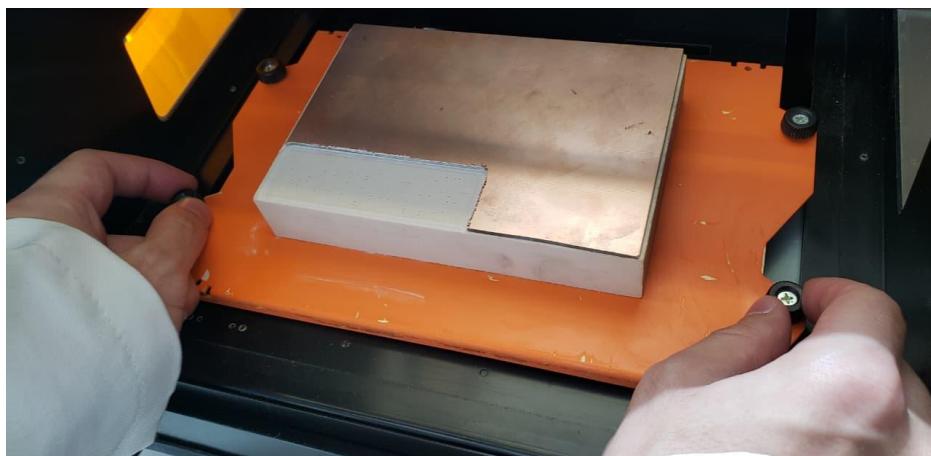
3. Se reinserta la bandeja de la Roland SRM-20.



4. Se baja el separador frontal nuevamente y se reinserta la cama de la Roland SRM-20.



5. Se aprietan los pernos de la cama para ajustarla correctamente.



Vista final de la Roland SRM-20 luego de finalizar el proceso de limpieza:



Checklist de Errores Comunes Durante el Mecanizado CNC de PCBs

Utilice estas checklists cuando el resultado del mecanizado no sea el esperado. Identifique el síntoma observado, verifique las causas probables y aplique la acción correctiva antes de repetir el proceso.

Nota de Seguridad

Ante cualquier comportamiento no descrito en estas checklists, se recomienda detener inmediatamente el mecanizado, elevar la herramienta a una posición segura y consultar con el encargado del FabLab antes de continuar.

IMPORTANTE

En caso de que la Roland SRM-20 se pause automáticamente debido a torque excesivo del husillo, la máquina quedará en estado de bloqueo de seguridad.

Para reanudar el mecanizado sin perder el progreso del corte, se debe:

1. Apagar la Roland SRM-20.
2. Encender nuevamente la máquina.
3. En el software VPanel, presionar los botones correspondientes para regresar al menú principal.

No cerrar VPanel antes de completar este procedimiento ya que se perderán los orígenes definidos.

Aislación de Pistas

- El cobre no se aísla completamente entre pistas (Incluso luego de limpiar entre pistas)
 - Verificar Cut Z (posiblemente demasiado superficial)
 - Ajustar Cut Z en incrementos pequeños ($\approx -0,01$ mm)
 - Repetir el aislamiento
- El ancho de aislación es irregular a lo largo de la placa
 - Verificar correcta fijación de la placa
 - Verificar que no esté demasiado desgastada la cama de madera
- Las pistas quedan excesivamente delgadas o se cortan
 - Verificar que el ancho de pistas del diseño CAD (en Kicad o Proteus) sean mayores a 0,4 mm (preferiblemente 0,6 mm)
 - Verificar Cut Z (posiblemente excesivo)
 - Reducir profundidad de corte
 - Verificar diámetro y ángulo de la fresa cónica
- Se observa vibración excesiva durante el mecanizado
 - Reducir Feedrate X-Y
 - Verificar estado de la fresa
 - Confirmar correcta fijación del material
- El cobre se levanta o se desgarra
 - Verificar desgaste de la fresa
 - Reducir velocidad de avance
 - Reemplazar herramienta si es necesario

Perforado de la Placa

- Los agujeros no atraviesan completamente la placa
 - Verificar Cut Z (recomendado -2,0 mm para FR-4 de 1,6 mm)
 - Repetir perforado si es necesario
- La broca se quiebra durante el perforado
 - Verificar Feedrate Z (probablemente demasiado alto)
 - Reducir avance en Z según diámetro de broca
 - Verificar alineación y estado de la broca
- Los agujeros están desalineados respecto a las pistas
 - Verificar que el origen XY sea el mismo para todos los procesos
 - Confirmar que el origen no fue redefinido entre archivos
- La broca no baja o no sube correctamente
 - Verificar origen Z
 - Redefinir cero Z tocando correctamente la superficie
- Exceso de polvo o ruido anormal brusco durante el perforado
 - Reducir Feedrate Z
 - Verificar que la broca sea adecuada para FR-4

Corte de Contorno del PCB

- La placa no se separa completamente del material
 - Verificar Cut Z final
 - Aumentar ligeramente la profundidad de corte
- Pasada inmediata hacia la profundidad final o vibración excesiva
 - Verificar que Multi-Depth esté activado
 - Reducir la profundidad por pasada (0,3 – 0,6 mm)
- La placa se mueve durante el corte
 - Verificar fijación con cinta doble faz
 - Reinstalar la placa si es necesario
- El contorno no coincide con el diseño
 - Verificar origen XY
 - Confirmar que se utilizó el archivo Gerber correcto (Edge Cuts)
- Confirmar que se utilizó la herramienta del diámetro correspondiente al archivo .nc

Conclusiones

El mecanizado de placas de circuito impreso mediante una fresadora CNC de escritorio, como la Roland SRM-20, constituye una alternativa viable y accesible para la fabricación rápida de prototipos, siempre que se comprendan y respeten las limitaciones técnicas, operativas y de seguridad propias del proceso.

A lo largo de este manual se presentó un flujo de trabajo completo que abarca desde la preparación de los archivos de diseño hasta la generación de las trayectorias de mecanizado y la ejecución del proceso en la máquina. Se demostró que los parámetros de fresado no son universales, sino que dependen de múltiples factores, tales como el tipo de herramienta, el material a mecanizar, la rigidez del sistema y las capacidades reales de la SRM-20. En este sentido, el objetivo no es entregar valores rígidos, sino criterios técnicos que permitan al operador tomar decisiones informadas y seguras.

Asimismo, se abordaron de manera explícita los riesgos asociados al mecanizado de diversos materiales de PCB (FR-1/FR-2, FR-4, CEM, etc.), destacando la importancia de los controles de ingeniería provistos por la máquina, así como el uso adecuado y proporcional del equipamiento de protección personal. La correcta aplicación de estas medidas permite reducir significativamente la exposición a partículas potencialmente nocivas durante el uso normal del equipo.

El uso de herramientas de software como FlatCAM y VPanel fue presentado no solo desde un enfoque procedural, sino también conceptual, con el fin de que el usuario comprenda el rol de cada etapa intermedia en la generación del código de control numérico. Esta comprensión es relevante para la detección de errores, la optimización de resultados y la adaptación del proceso a distintos diseños y condiciones de trabajo.

Finalmente, este manual no pretende reemplazar el criterio del operador, sino servir como una guía técnica de referencia para el uso responsable, reproducible y seguro de la Roland SRM-20 en el mecanizado de PCBs. La correcta aplicación de los conceptos y procedimientos aquí descritos permitirá obtener resultados consistentes, prolongar la vida útil del equipamiento y fomentar buenas prácticas dentro del entorno de laboratorio.

Referencias bibliográficas

Ministerio de Salud de Chile. (1999). Decreto Supremo N.º 594: Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo. Santiago, Chile.
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=167766&idVersion=2019-06-20&idParte=8643239>

Congreso Nacional de Chile. (1968). Ley N.º 16.744: Seguro Social contra Riesgos de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales. Santiago, Chile.
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=28650>

Norplex-Micarta. (2010, diciembre 14). Material Safety Data Sheet: Acculam™ Epoxyglas - NEMA Grades G10, G11, FR4, FR5. https://www.alro.com/dataPDF/Plastics/PlasticsMSDS/MSDS_G10FR4.pdf

Roland DG Corporation. (s. f.). SRM-20 compact milling machine specifications. Roland DG Global. Recuperado de <https://global.rolanddg.com/products/milling-machines/srm-20-compact-milling-machine/specifications>

FlatCAM. (s. f.). *Introducción*. FlatCAM documentation. Recuperado el 13 de diciembre de 2025, de <http://flatcam.net/manual/es/introduction.html>

Sandvik Coromant. (s. f.). Fórmulas y definiciones de fresado. Sandvik Coromant. <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/machining-formulas-definitions/milling-formulas-definitions>