



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE IMPRESIÓN 3D MEDIANTE EL BRAZO ROBÓTICO KUKA KR16 PARA EL PROTOTIPADO RÁPIDO CON LA TÉCNICA DE SOBRE-EXTRUSIÓN Y CON UNA ETAPA FINAL DE ACABADO PARA PIEZAS DE MAYOR RESISTENCIA Y TAMAÑO”

AUTORES:

LEÓN TAPIA, KEVIN ANDRÉS

RAMOS CHANCUSIG, KARINA MAGALY

DIRECTOR:

ING. ACUÑA COELLO, FAUSTO VINICIO



CONTENIDO

RESUMEN

OBJETIVOS

CONCEPTOS BÁSICOS

DISEÑO MECÁNICO

DISEÑO ELECTRÓNICO

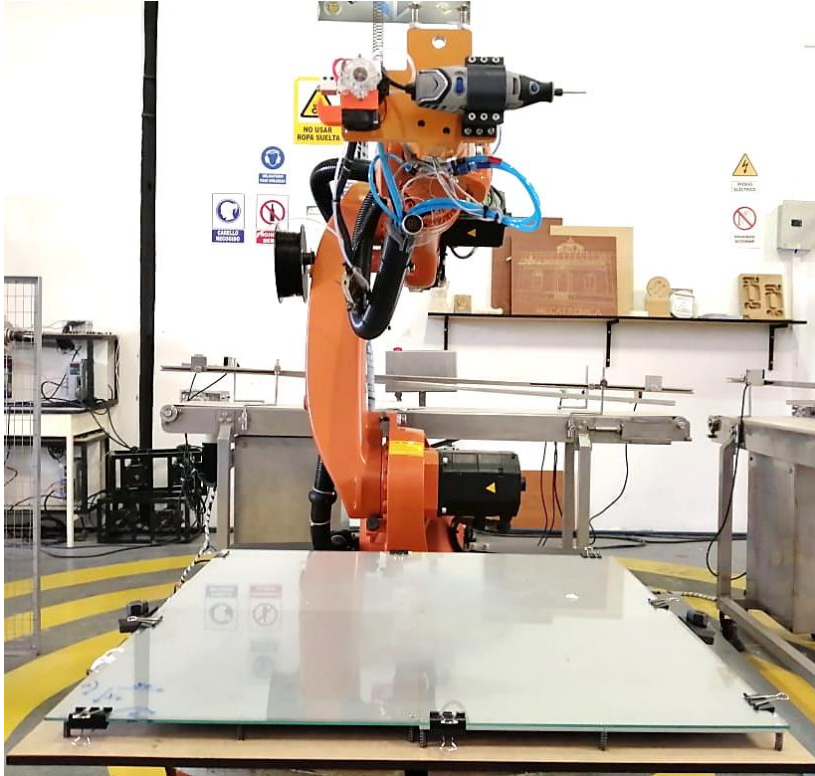
PROGRAMACIÓN

PRUEBAS Y RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



RESUMEN



- La impresión de piezas de gran tamaño en la actualidad está en desarrollo, la misma se ve limitada por la superficie de trabajo donde se imprime, las piezas realizadas por impresión 3D soporta esfuerzos menores a las obtenidas de un material en bruto, por lo que se ha implementado una herramienta de manufactura aditiva y sustractiva en un brazo robótico KUKA KR 16 en el laboratorio de robótica industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga



OBJETIVOS

Diseñar e implementar un sistema de impresión 3D mediante el brazo robótico KUKA KR16 para el prototipado rápido con la técnica de sobre-extrusión y con una etapa final de acabado para piezas de mayor resistencia y tamaño.

• OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar los componentes de la unidad de extrusión para el sistema de impresión 3D.
- Diseñar el soporte de acoplamiento entre el brazo robótico y el cabezal extrusor a través de software CAD.
- Construir e implementar el sistema de impresión 3D con algoritmo de control para el brazo robótico KUKA KR16.
- Generar códigos G para el prototipado rápido de objetos y la etapa final de acabado.
- Realizar pruebas a probetas generadas mediante FDM convencional y FDM sobre extruido con una etapa final de acabado, validación de la hipótesis por análisis de resultados y pruebas de funcionamiento.



CONCEPTOS BÁSICOS

- **Manufactura Híbrida**
- Es una combinación de las mejores características entre un método sustractivo, en este caso el mecanizado CNC que, aunque depende de la intervención humana para la generación de códigos es de alta calidad, y el prototipado rápido a través de FDM que construye piezas sin intervención humana, utiliza el concepto de near net (la producción inicial tienen casi su forma final), para reducir considerablemente la programación y los costos



CONCEPTOS BÁSICOS

- **Sobre-extrusión**

La sobre-extrusión es el resultado directo de un excesivo suministro de material polimérico en la boquilla de extrusión lo que provoca que el modelo CAD ideal se modifique por la cantidad de plástico en el exterior y provoca que se pierdan las características geométricas iniciales, esta condición se da gracias al multiplicador de extrusión y por el ajuste de flujo



CONCEPTOS BÁSICOS

- **Post procesado**

Esta etapa consiste en mejorar la apariencia de capas del FDM, además determina la calidad de las piezas, se aplicó el método de fresado, que se utiliza en materiales termoplásticos que sean maquinables, mejora la apariencia del producto, se realiza en base a la pieza original del CAM y ésta debe estar sujeta a la mesa de manera firme



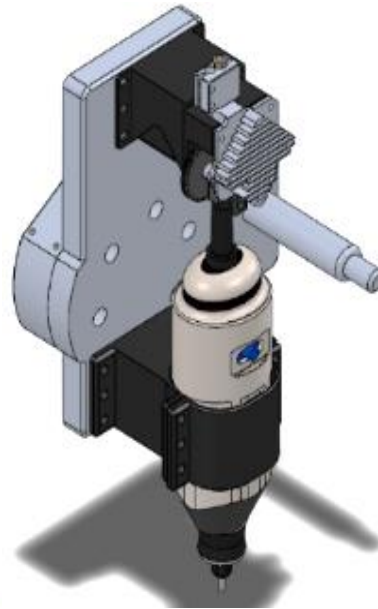
DISEÑO MECÁNICO

PARÁMETROS	DEFINICIÓN
Carga máxima	La carga máxima que podría soportar la muñeca del brazo robótico es de 14 Kg
Volumen de trabajo	Una base de trabajo en la mesa multitarea de 60*60 cm y una altura de 80cm y con volumen de trabajo total de 288000cm^3
Velocidad de corte (mototool)	$46-137\frac{\text{m}}{\text{min}}$
Avance por diente (mototool)	0,025mm
Velocidad del husillo (mototool)	$n \approx 9173,34\frac{\text{rev}}{\text{min}}$



MEJOR PROPUESTA DE DISEÑO

Para corregir los desplazamientos resultantes en la herramienta y la vibración causada al momento de realizar el proceso de mecanizado, se redujo la distancia entre la herramienta para el acabado y el plato en V. Se eligió el material aluminio 6061 T4 por lo que se logra un diseño más compacto y resistente a la flexión generada por el proceso de fresar



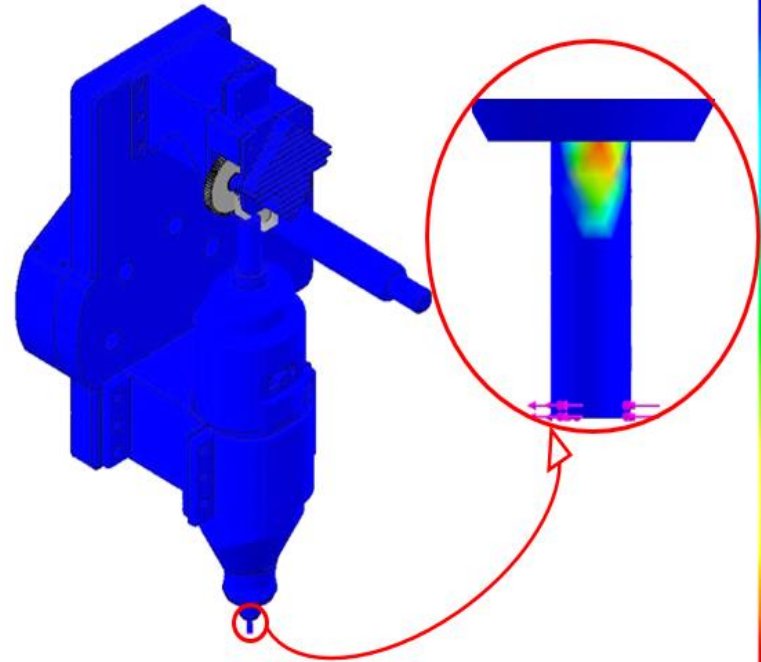
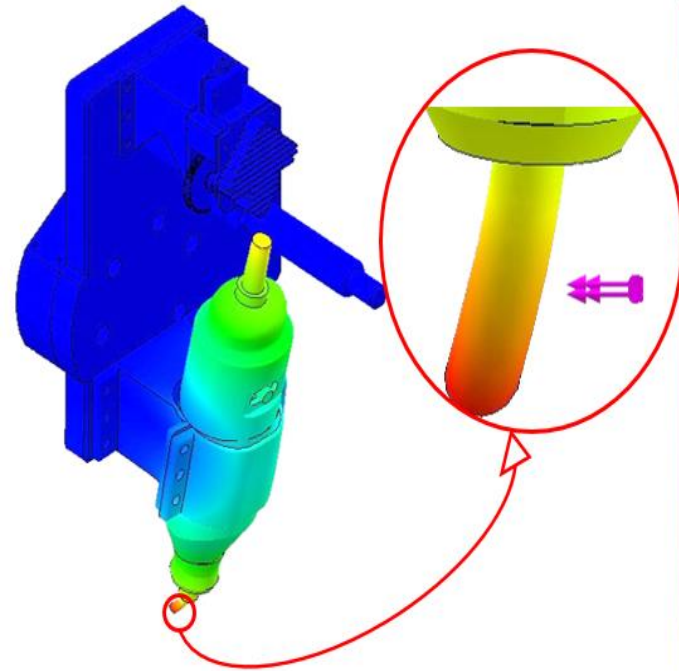
VALIDACIÓN DEL DISEÑO POR SOFTWARE CAE

URES (mm)

4.225e-02
3.873e-02
3.521e-02
3.169e-02
2.817e-02
2.464e-02
2.112e-02
1.760e-02
1.408e-02
1.056e-02
7.041e-03
3.521e-03
1.000e-30

FDS

1.000e+01
9.705e+00
9.409e+00
9.114e+00
8.818e+00
8.523e+00
8.228e+00
7.932e+00
7.637e+00
7.341e+00
7.046e+00
6.750e+00
6.455e+00



SELECCIÓN DE COMPONENTES



CARACTERÍSTICAS HOTEND E3D VOLCANO

- Diseño totalmente metálico
- Velocidad más alta
- Aguda transición térmica
- Mejor tasa de fusión
- Adaptable
- Altura de capa más grande
- Capacidad de objetos más grandes



CARACTERÍSTICAS EXTRUSOR TITAN AEREO

- Compatible con hotend E3D Volcano
- Compatible con cualquier material
- Aumenta su precisión
- Menor distancia en eje Z
- Impresión continua después de paros y arranques a velocidades altas
- Facilidad al cambio de filamento y mantenimiento



SELECCIÓN DE COMPONENTES



CARACTERÍSTICAS MOTOTOOL DREMEL 3000

Ergonómico

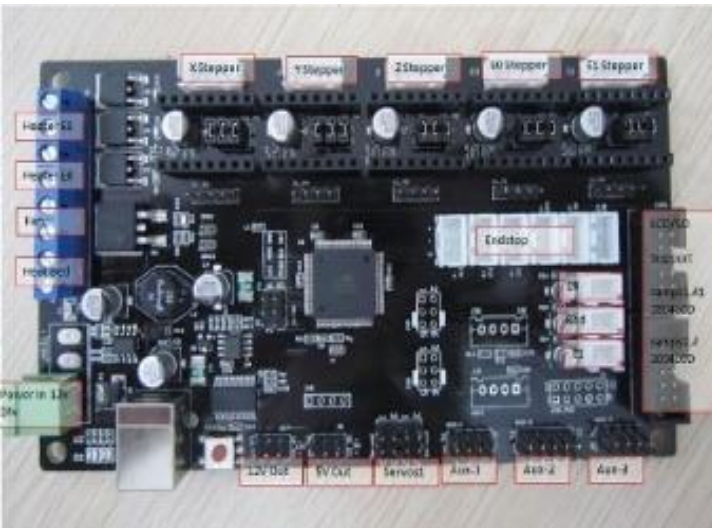
Velocidad de 5000 hasta 35000 RPM

Voltaje 120 V C

Frecuencia 60 Hz

Amperaje 1.2 A

Potencia 130W



CARACTERÍSTICAS TARJETA DE CONTROL MKS GEN

Fuente de alimentación de 12-24V

Tiene procesadores Atmega2560 y FT232 compatibles con Arduino

Firmware compatible para Ramps 1.4

Conector de display y SD Card

Controladores para 5 motores

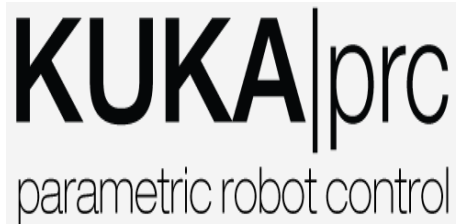
Pines para tres sensores de temperatura

Protección contra cortocircuitos



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SELECCIÓN DE COMPONENTES



CARACTERÍSTICAS KUKA|PRC

Plugin instalable en Rhinoceros

Lenguaje de programación visual

Permite construcción de generadores de código

Permite importar códigos G

Licencia estudiante \$120,00

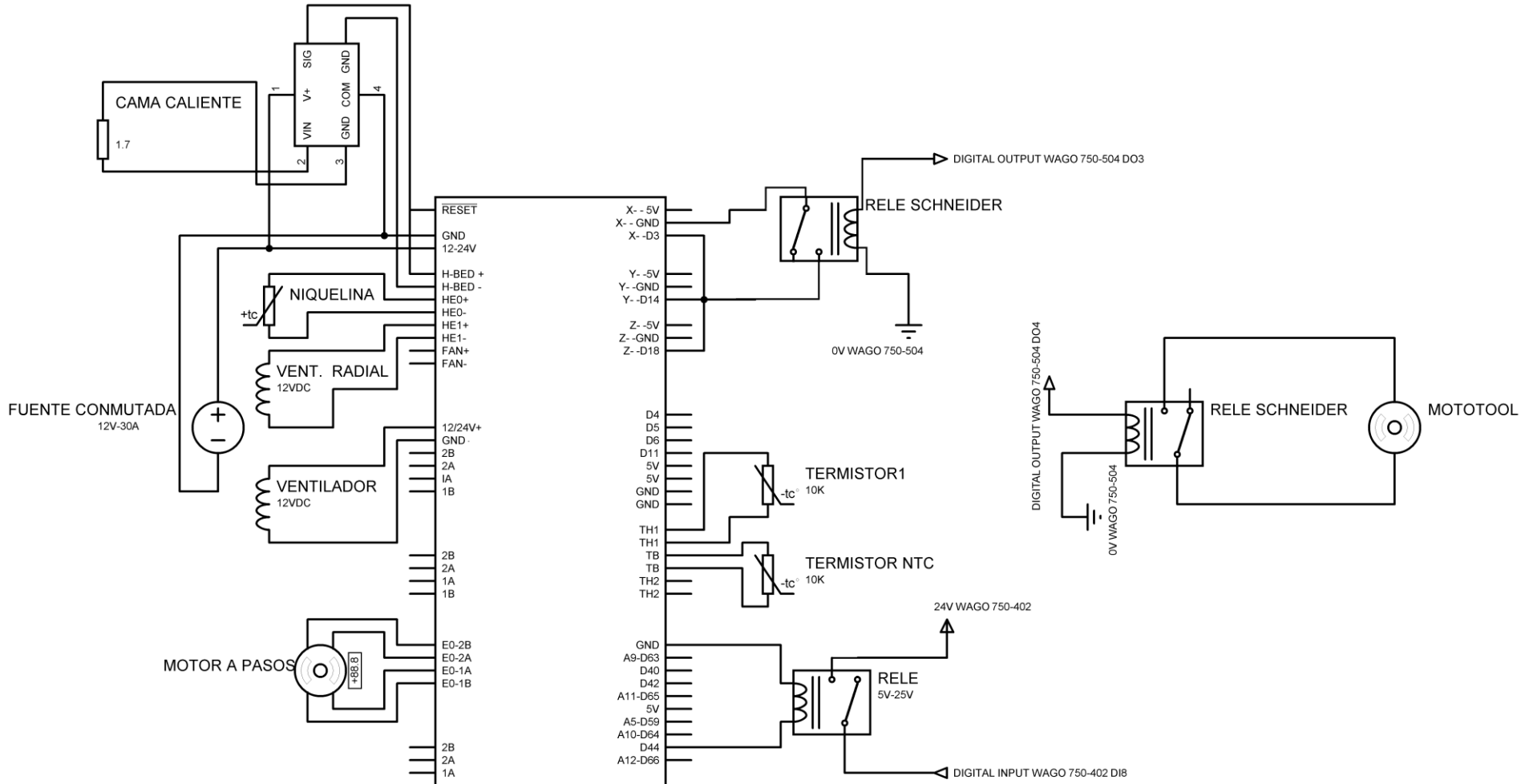
Compatible con el software de Código abierto SLIC3R

Compatible con el software Autodesk Fusion 360



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO ELECTRÓNICO

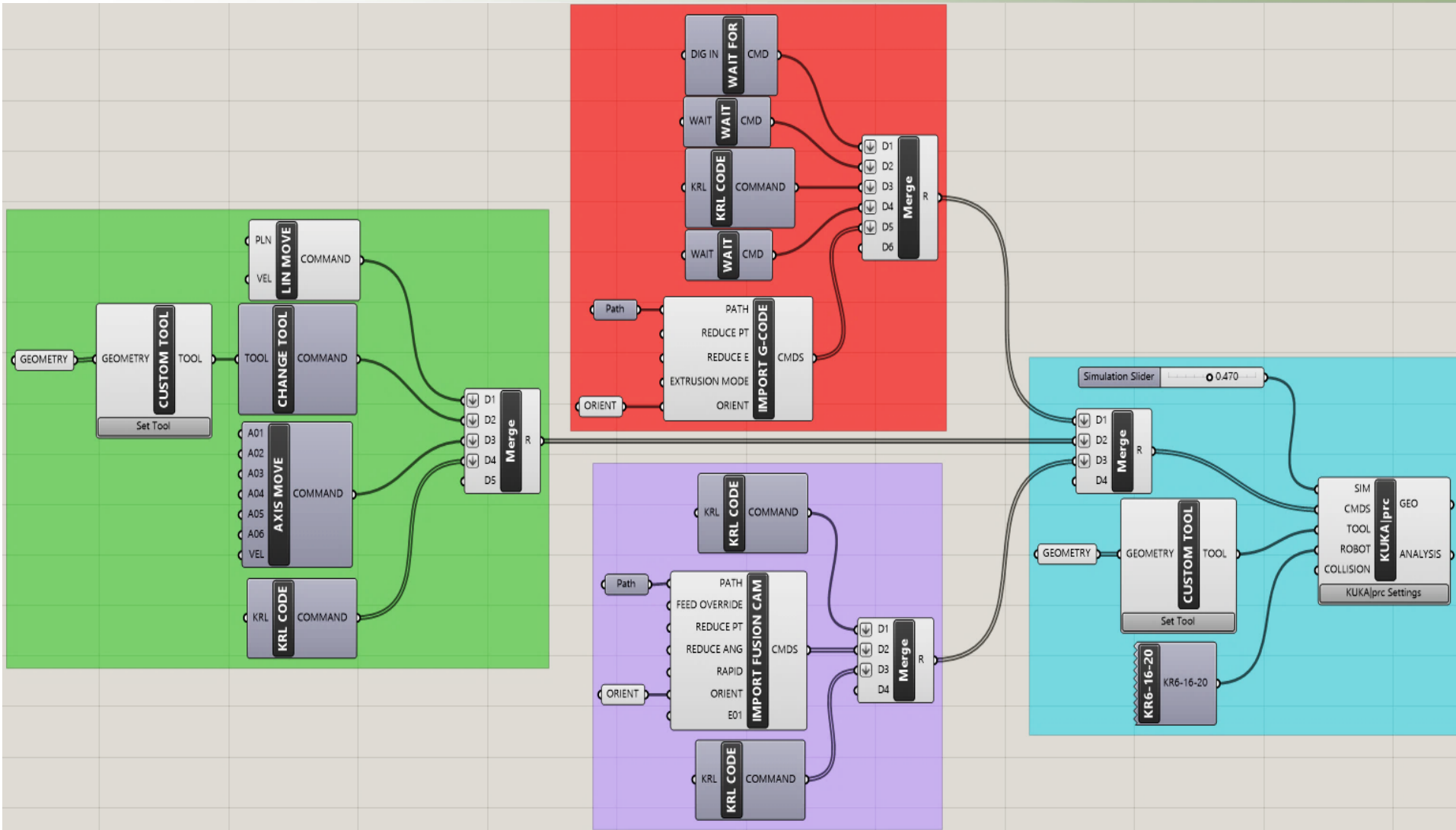


PROGRAMACIÓN

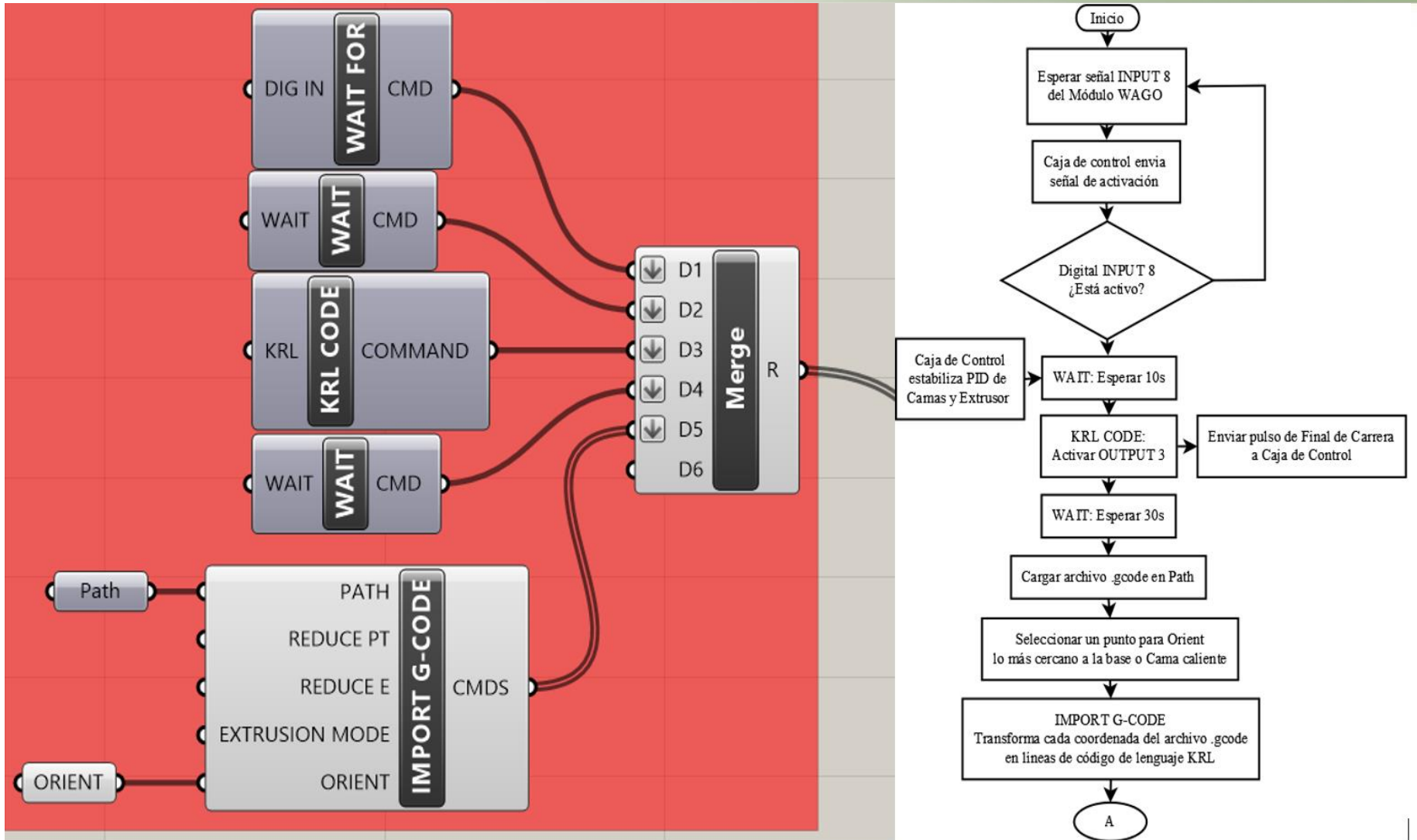
- La programación por bloque que se utilizó, está agrupada por procesos como: prototipado rápido, cambio de herramienta, mecanizado y generación de archivo, representados por los colores rojo, verde, morado y celeste respectivamente.



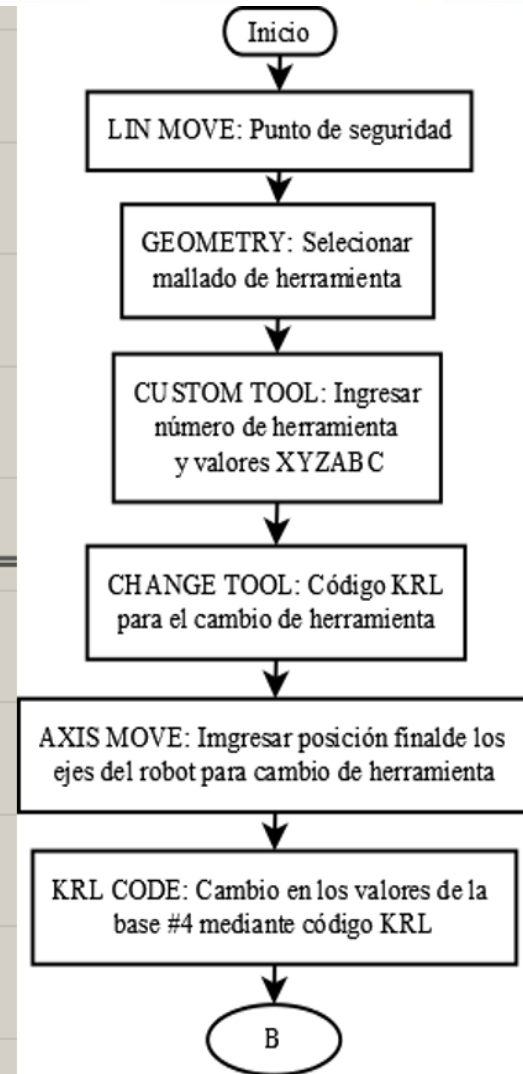
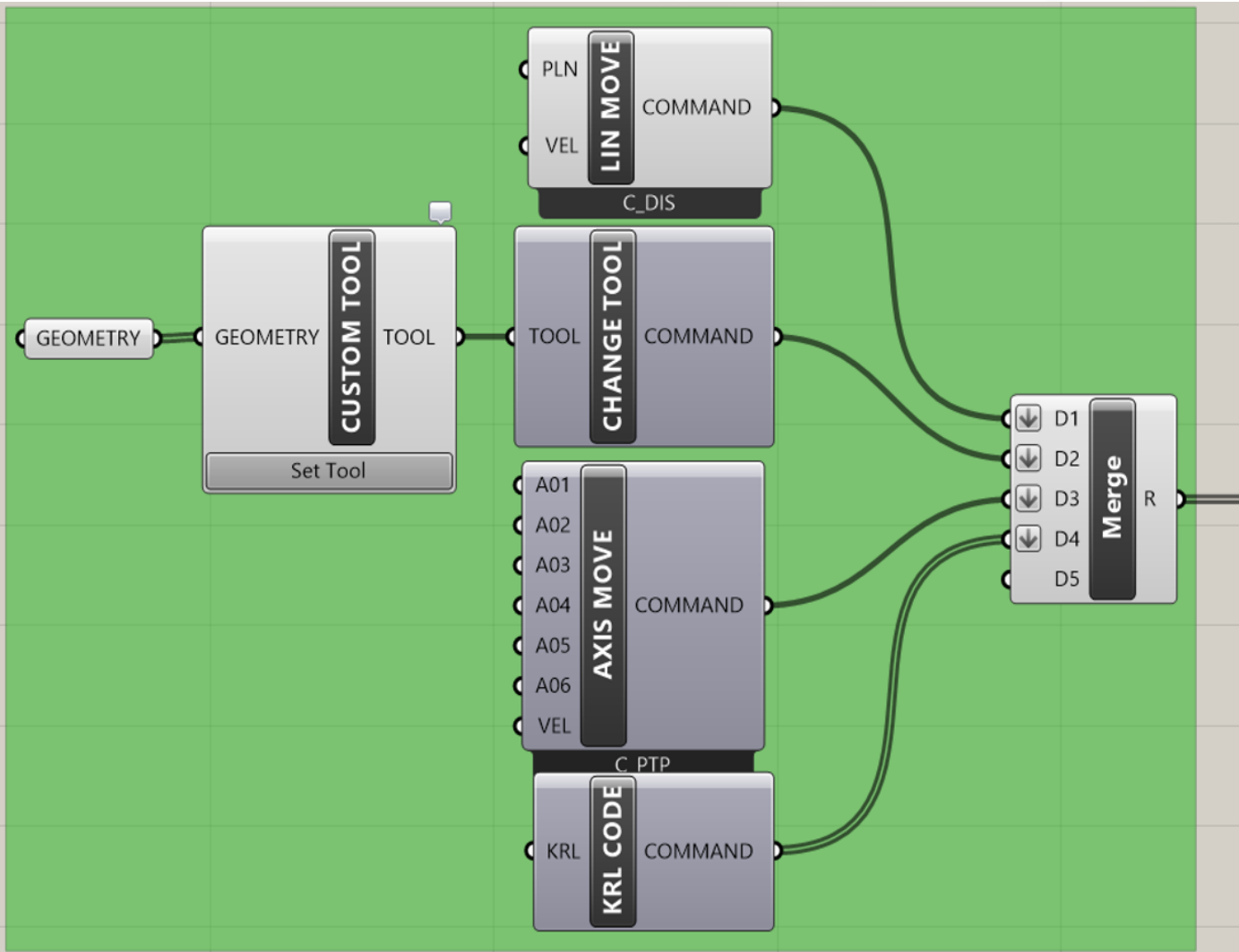
PROGRAMACIÓN



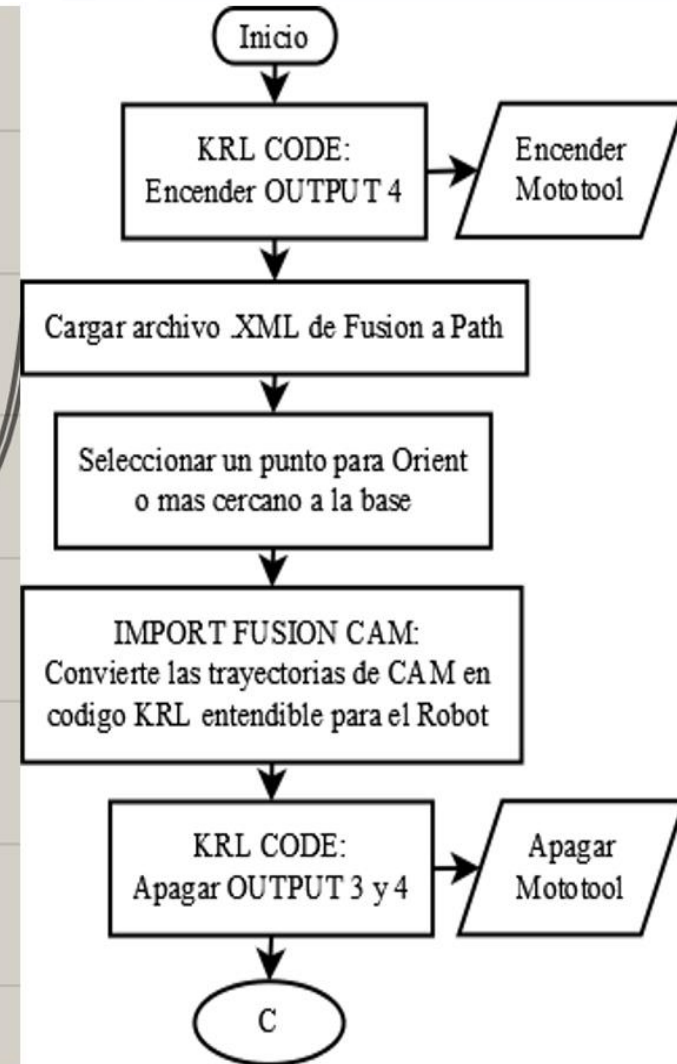
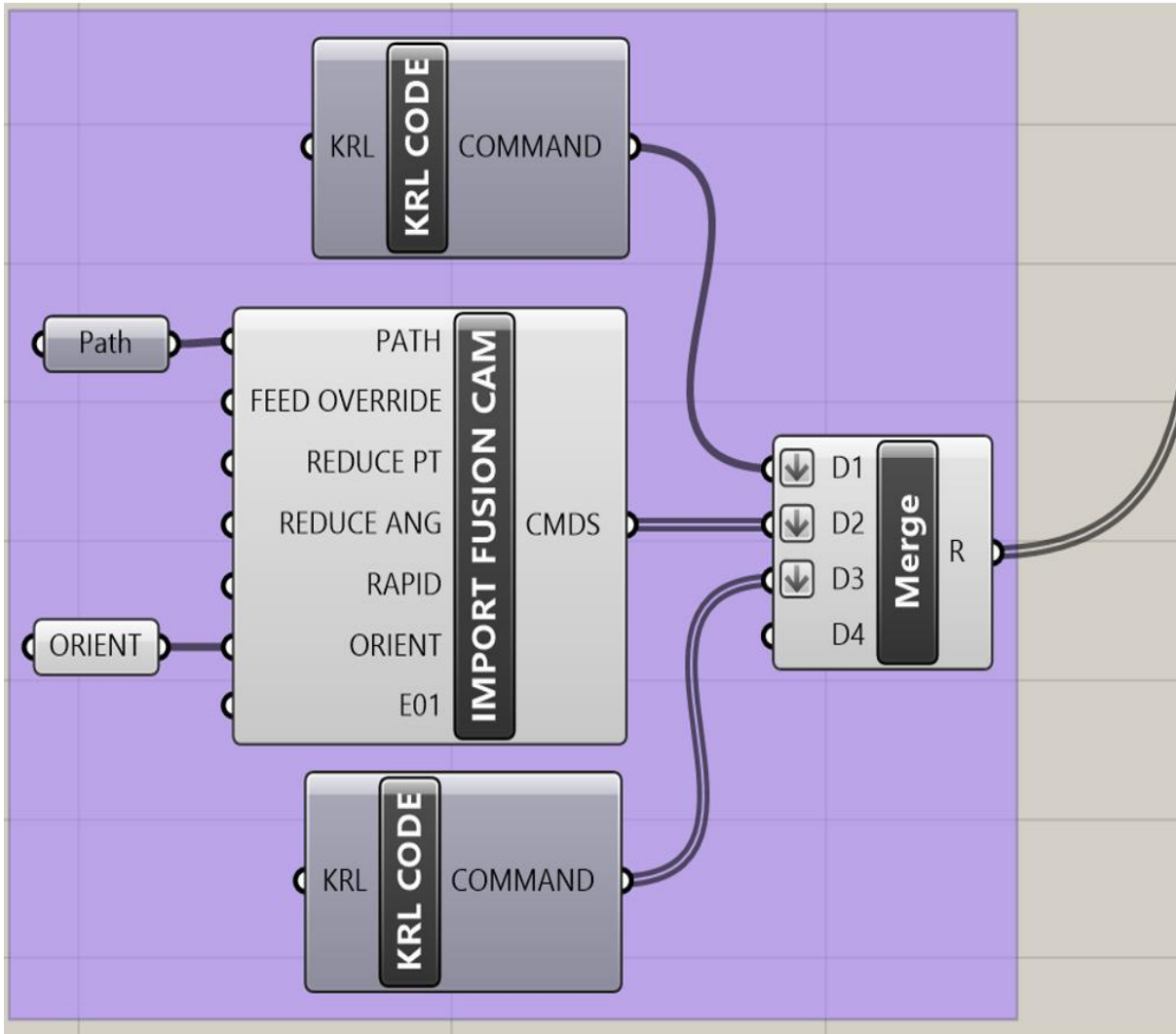
PROGRAMACIÓN



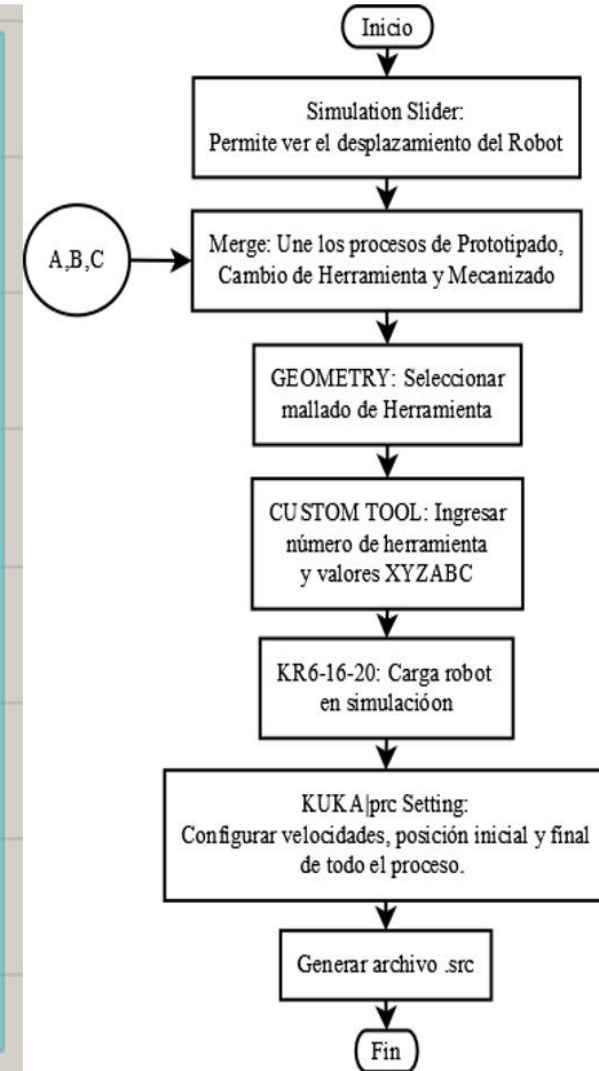
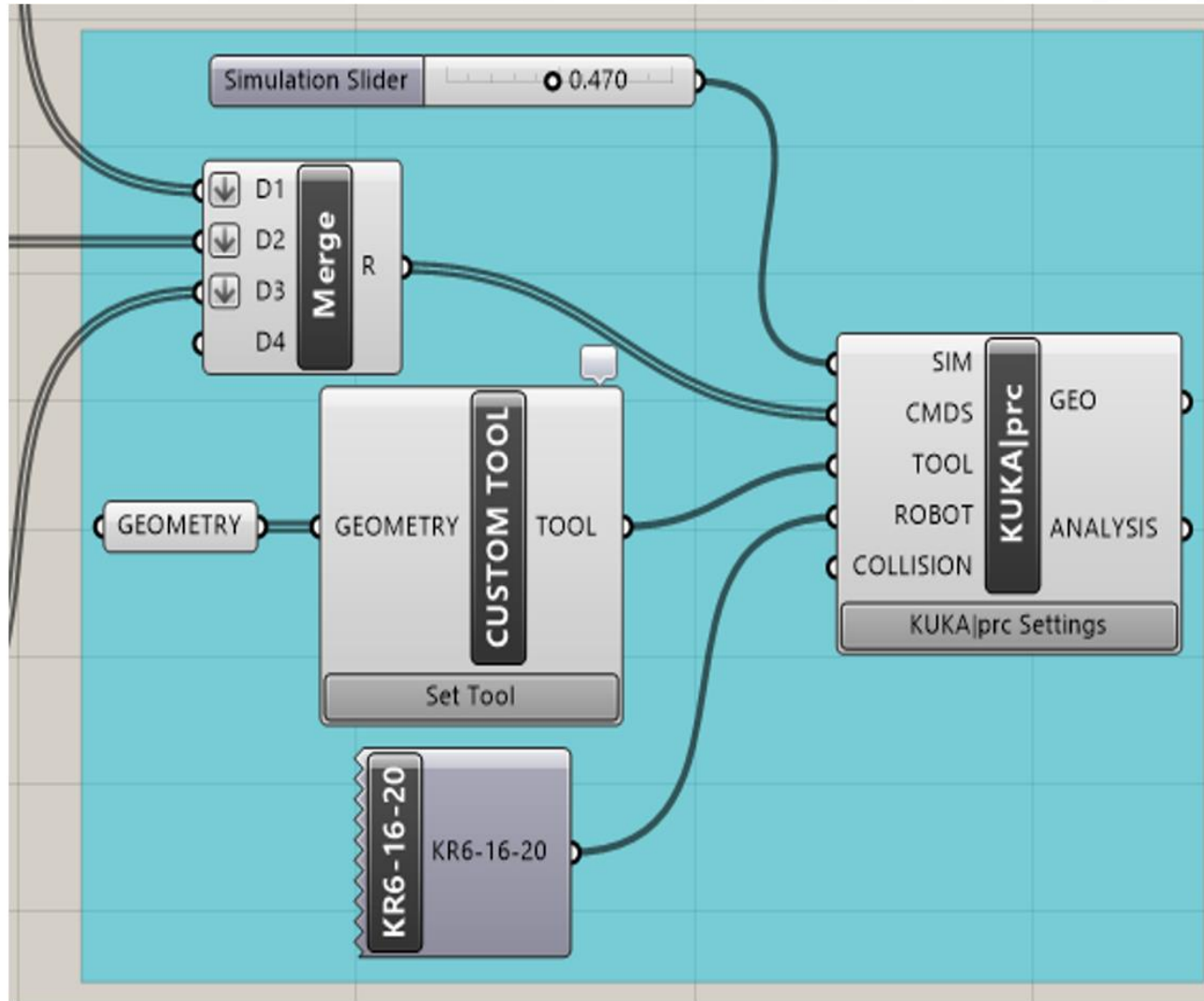
PROGRAMACIÓN



PROGRAMACIÓN

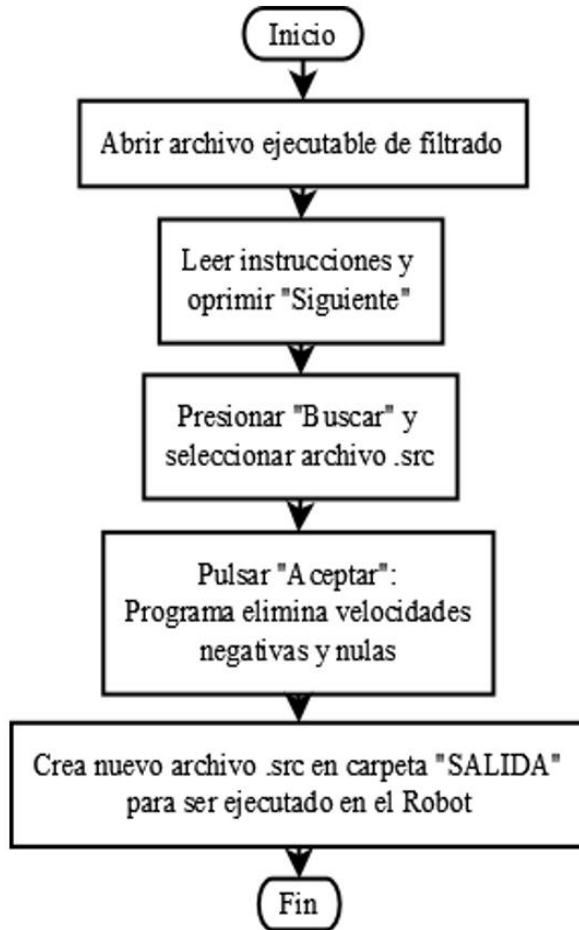


PROGRAMACIÓN



PROGRAMACIÓN

Tratamiento de códigos



FILTRADO PARA KUKA



Filtrado de códigos compatibles con KUKA KR 16

El siguiente programa acepta archivos con extensión .src, para adecuarlos a fin de un correcto funcionamiento del KRC2, estos archivos deben ser generados a través de Grasshopper y su plug-in KUKA|prc

INSTRUCCIONES

- Seleccionar archivo con la extensión válida
- Verificar la dirección de salida del nuevo archivo
- Pulsar Aceptar

NOTA

Autores

Siguiente>>

Cerrar



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Elementos:



PROGRAMACIÓN

- **Sincronización caja de control y brazo robótico**

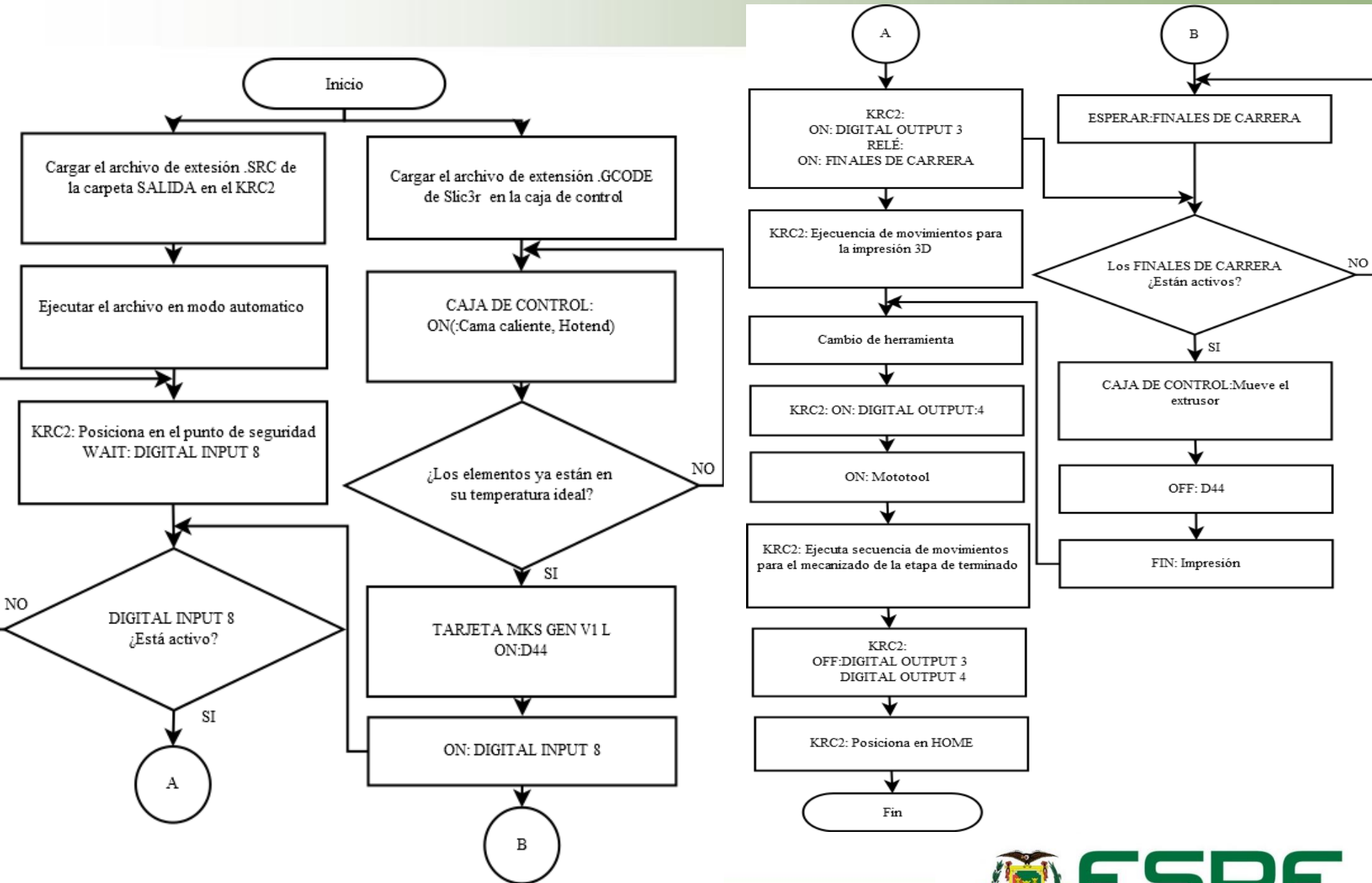
Se debe tomar en cuenta la configuración de las herramientas y base, para el proceso de impresión y fresado

Para la ejecución del programa, el KCP debe estar en T3 o modo automático

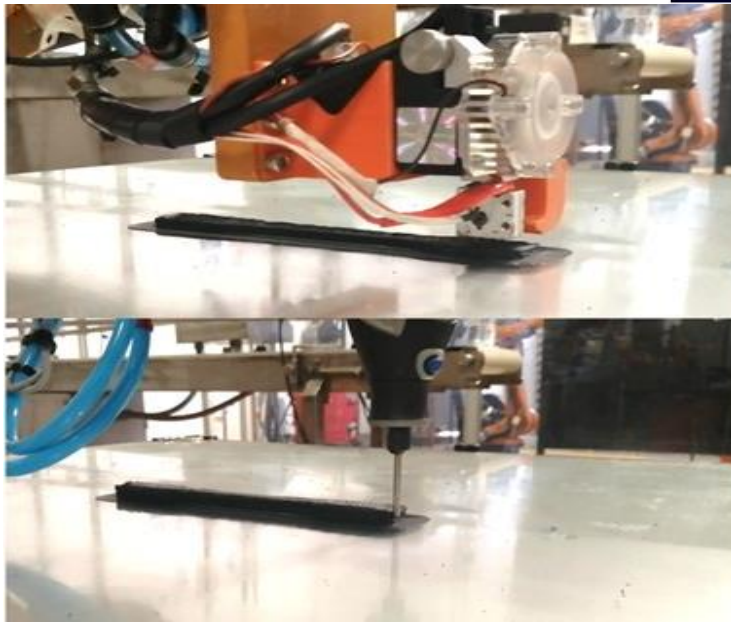
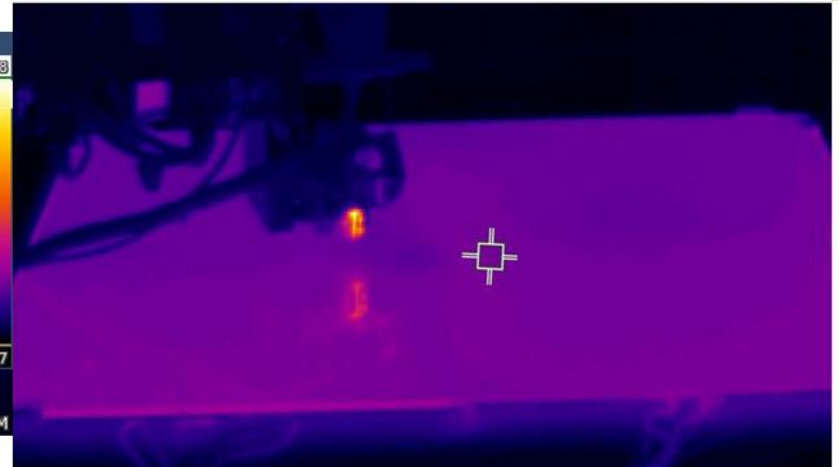
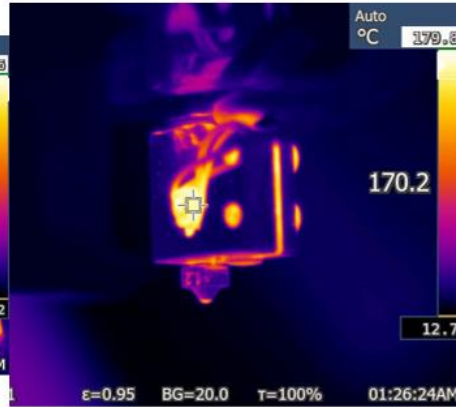
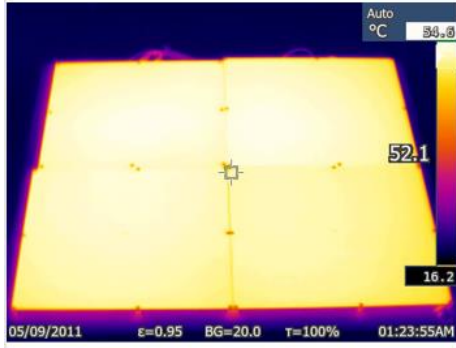
El archivo que va a la caja de control ya está configurado para mandar una señal, la misma será activada cuando la cama caliente y el extrusor hayan llegado a la temperatura deseada, mediante un relé activará la entrada del módulo Wago y el brazo robótico empezará a moverse por lo que se sincroniza el movimiento



PROGRAMACIÓN



PRUEBAS Y RESULTADOS



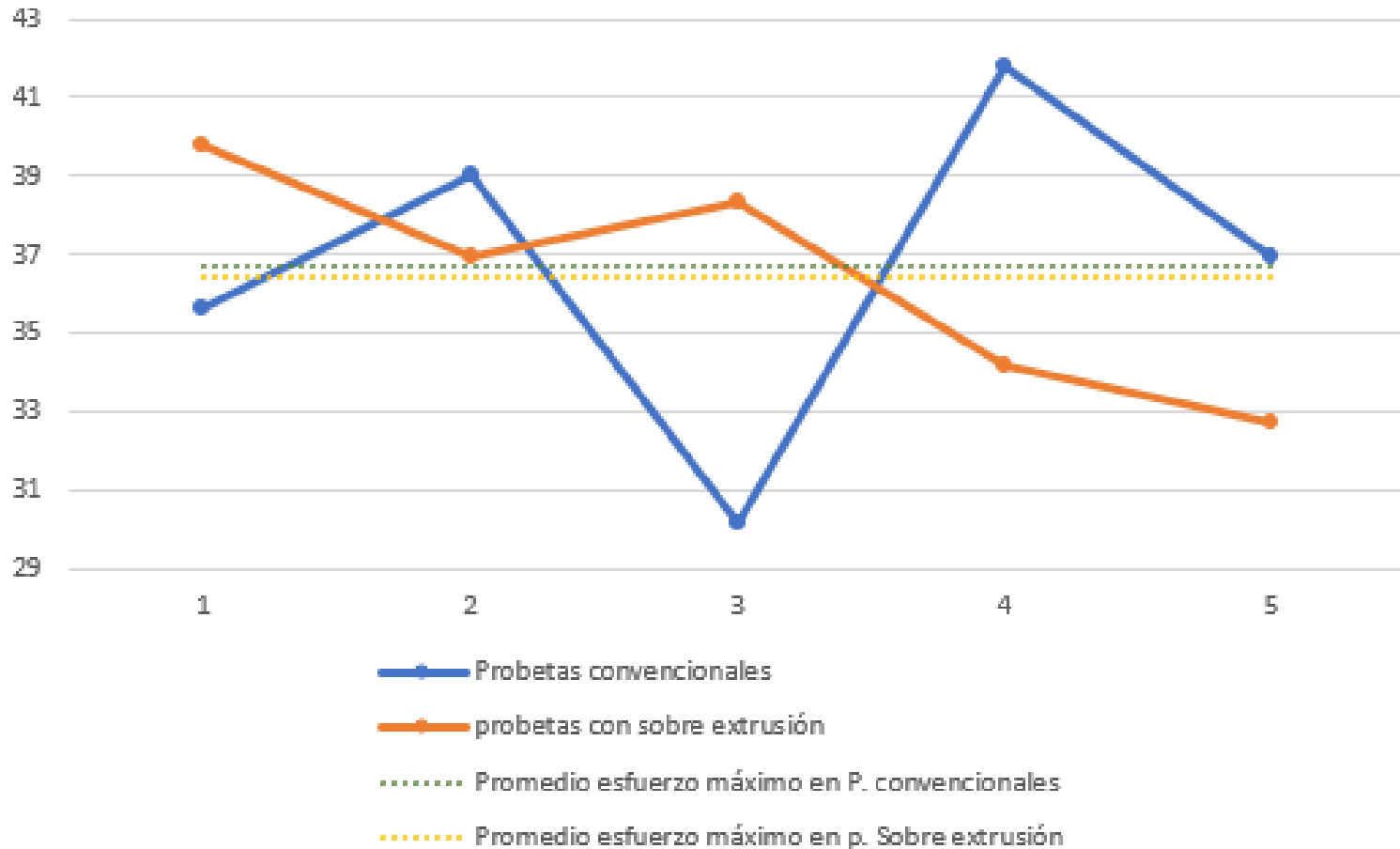
PRUEBAS Y RESULTADOS

- Según la norma ASTM D638-14 el mínimo de probetas es 5 por cada dirección, en el estudio realizado por León & Romero(2018), con sus ensayos dedujeron que el análisis se limita a la dirección XY



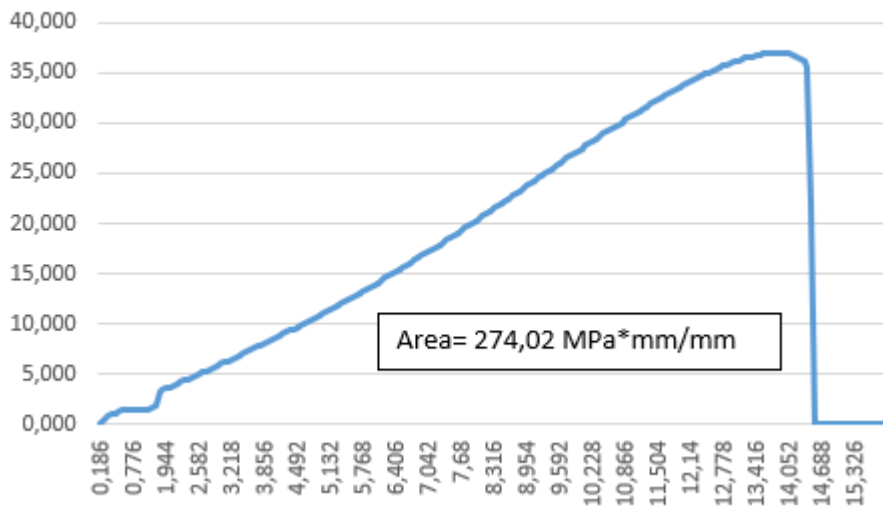
PRUEBAS Y RESULTADOS

Comparación del esfuerzo máximo entre probetas

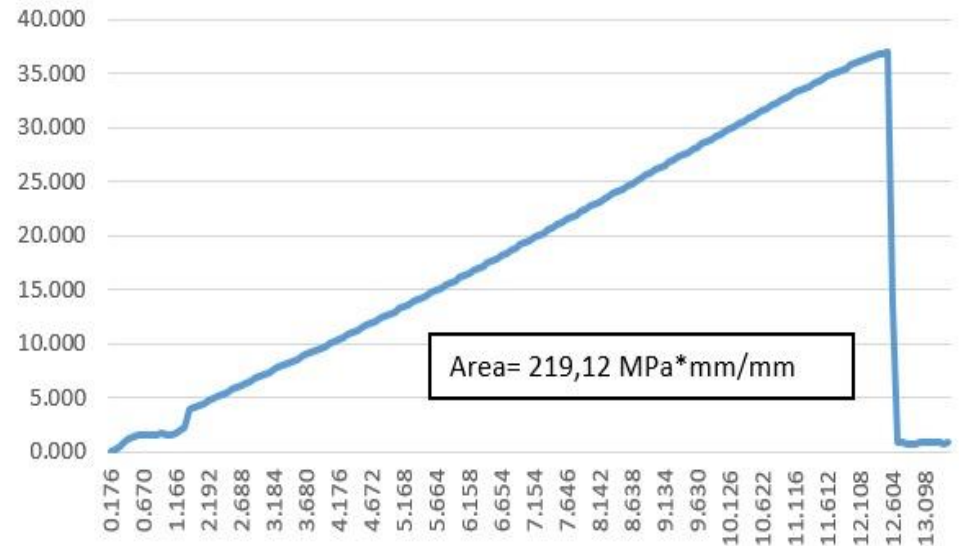


PRUEBAS Y RESULTADOS

Probetas convencionales



Probetas con sobre-extrusión



VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

- H_0 : El esfuerzo máximo a tracción de las probetas no aumenta con la impresión 3D por sobre- extrusión. ($D=0$)
- H_a : El esfuerzo máximo a tracción de las probetas si aumenta con la impresión 3D por sobre- extrusión. ($D>0$).

Condición	Decisión
$-t_c < t_{n-1} < t_c$	No se rechaza H_0
$t_{n-1} < -t_c$ ó $t_{n-1} > t_c$	Se rechaza H_0



VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

- Grados de libertad $GL=4$
- De la tabla t-Student se obtiene que: $t_{n-1} = 2,132$
- El estadístico t calculado se establece como $t_c = \frac{\bar{d}-\bar{D}}{\frac{s_d}{\sqrt{n}}}$

reemplazados los respectivos valores se tiene que:

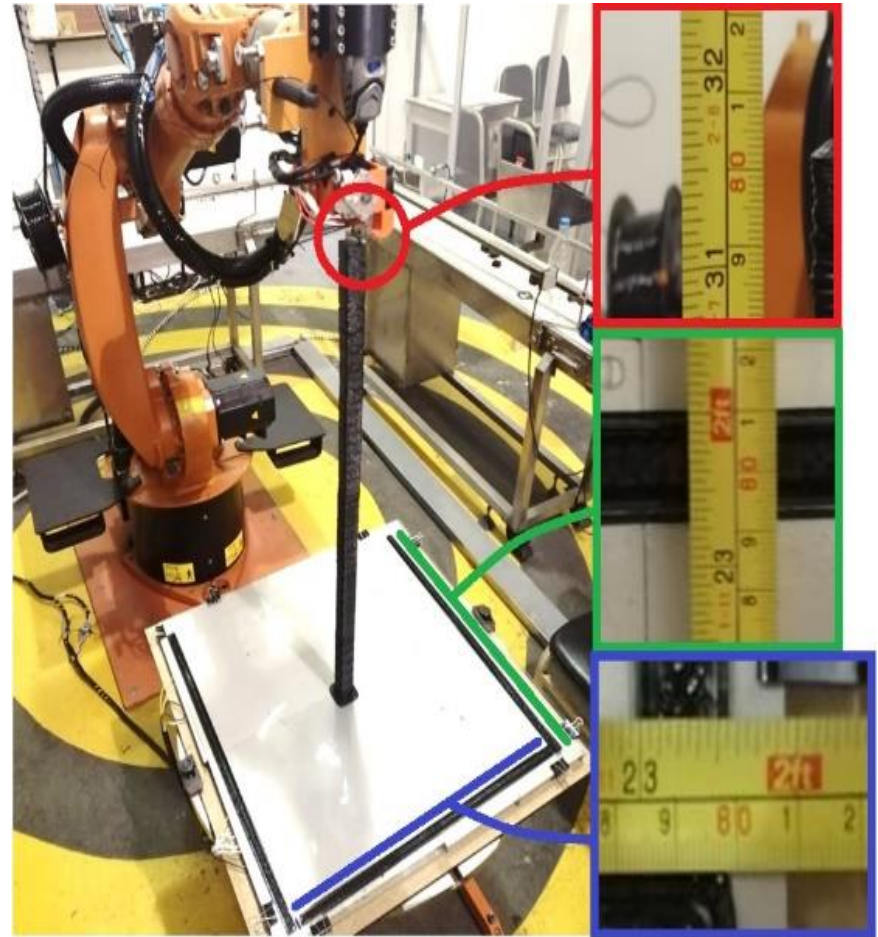
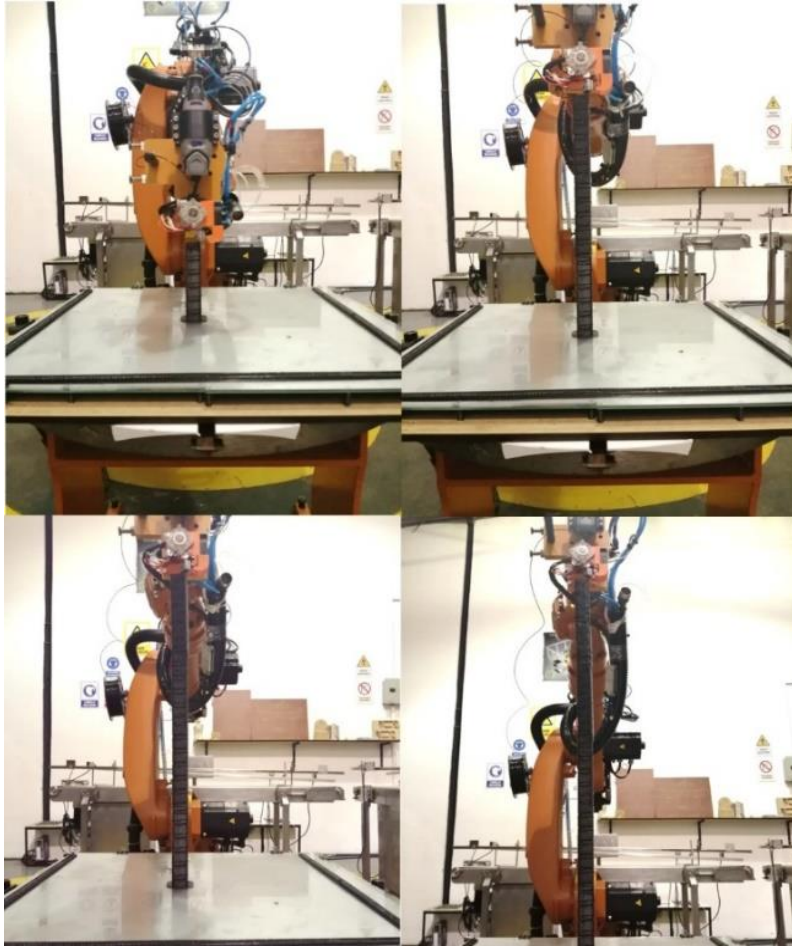
- $t_c = 0,112$

$$\begin{aligned}t_{n-1} &> t_c \\ 2,1318 &> 0,112\end{aligned}$$

- Por lo que se rechaza la hipótesis nula y se valida la hipótesis alternativa, con un nivel de significancia del 5%, el esfuerzo máximo a tracción de las probetas si aumenta con la impresión 3D con sobre extrusión



VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS VOLUMEN DE TRABAJO

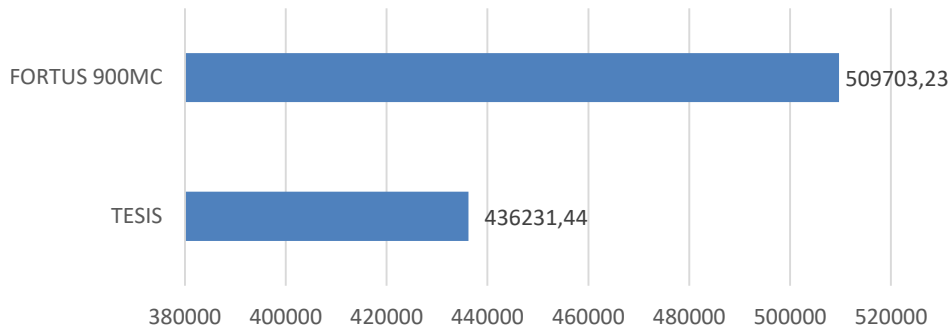


VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

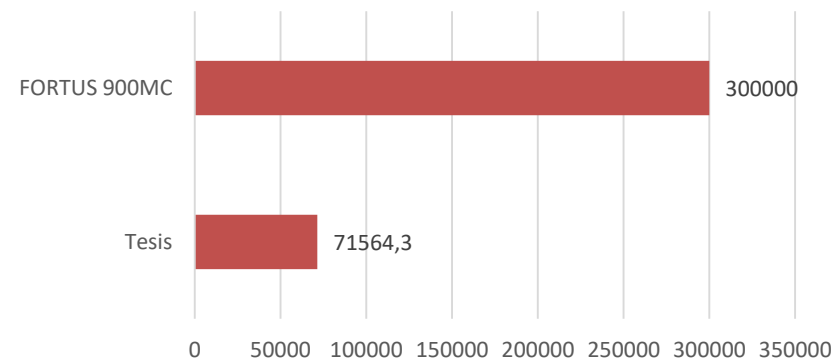
VOLUMEN DE TRABAJO

- Comparación por volumen máximo

COMPARACIÓN POR VOLUMEN MÁXIMO



COMPARACIÓN DE COSTOS PARA EL VOLUMEN MÁXIMO



VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS VOLUMEN DE TRABAJO

- Comparación por especificaciones

	Impresoras	
	H- SERIES BENCHTOP CNC	Tesis
Costo	\$6900.00 (3 herramientas de manufactura aditiva y 2 de manufactura sustractiva) más envío e impuestos	\$1564.30
Costo en relación a una herramienta de manufactura aditiva y una de manufactura sustractiva	\$2760.00 más envío e impuestos	\$1564.30
Diámetro de la herramienta de corte	1/8 in	1/8 in
Eje X	41.6 cm	60 cm
Eje Y	18.6cm	60 cm
Eje Z	21cm	80cm
Volumen de trabajo	16248.96cm ³	288000 cm ³
Incremento		1672.42%



CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un sistema de impresión 3D mediante el brazo robótico KUKA KR16, para el prototipado rápido; se utilizó el software libre SLIC3R con la técnica de sobre-extrusión y en la etapa final de acabado se utilizó el software Autodesk Fusion360, con el fin de obtener piezas de mayor tamaño, con un volumen de trabajo de $600 \times 600 \times 800 \text{ mm}^3$, en el que se logró el movimiento cartesiano del brazo robótico en cada punto.
- Los ensayos mecánicos de tracción demostraron que las piezas manufacturadas con los parámetros de sobre-extrusión y una etapa final de acabado presentan un comportamiento más homogéneo con una variación de datos de 7.97%, siendo así más estable en relación a piezas manufacturadas de manera normal con una variación del 11.78%, asimismo desde punto de vista de diseño el uso de piezas con sobre-extrusión tienden a aproximarse con menor tolerancia a la media por lo que garantiza la funcionalidad de elementos creados bajo esta técnica.



CONCLUSIONES

- Al ejecutar se aprovecha la velocidad de hasta 2000mm/s en tiempos muertos alcanza los, ya sea al ubicar el robot en las posiciones de home, específicas y en movimientos rápidos, duplica a las máquinas comerciales como la FORTUS 900MC, por lo que el tiempo de producción se mejora notablemente, con un gran volumen máximo de 461182.769cm³, a un cuarto del costo.
- El diseño mecánico del proyecto fue validado mediante un software CAD CAE con el que se obtuvo un factor de seguridad de 6.45 de la herramienta de corte en el punto de esfuerzo máximo, se seleccionó el PLA con fibra de carbono como material base para las probetas ya que es apto para la manufactura híbrida por sus propiedades mecánicas, las probetas realizadas con este material no necesitaron sujeción extra por lo que la etapa final de acabado se realizó directamente en la mesa de trabajo.



CONCLUSIONES

- Se utilizó el plugin Grasshopper en Rhinoceros, para coordinar los movimientos entre el brazo robótico y los códigos generados para la impresión 3D y el fresado, en el software con el complemento Kuka|prc se programa el algoritmo necesario para la ejecución del proyecto y generar un archivo de salida .src en lenguaje entendible para el robot es decir KRL.
- Se descartó el empleo del software CAMRob, aunque admite archivo de mayor tamaño este genera retardos ya que por su configuración llega a los puntos con una velocidad de 0, y al existir una gran densidad de puntos en el prototipado rápido el movimiento del robot es lento.



RECOMENDACIONES

- La calibración de los ejes a través de la unidad UEA es necesaria de manera periódica e indispensable en nuevas aplicaciones de la celda, pues el brazo robótico está en constante descalibración debido a choques, frenos bruscos o el accionamiento de los finales de carrera.
- Se debe realizar el mantenimiento de los mecanismos internos del brazo robótico para que la precisión y repetibilidad no se altere de manera que afecten a proyectos posteriores.
- Verificar el tamaño del archivo de salida que se va ejecutar en el brazo robótico, pues este está limitado por la memoria interna de máximo 2MB y la memoria RAM del KRC, por lo que se debe utilizar la boquilla más grande y la mayor altura de capa permisible.
- Verificar el cero de las herramientas antes de realizar cualquier trabajo, pues este puede variar al apagar y encender nuevamente el KRC.



¡Gracias!



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA