



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Ingeniería Mecatrónica

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA DE  
PROTOTIPADO RÁPIDO BASADA EN LA TECNOLOGÍA  
DE SINTERIZADO SELECTIVO POR LÁSER (SLS) QUE  
PERMITA LA MANUFACTURA DE OBJETOS  
TRIDIMENSIONALES”**

**AUTOR: ARCOS VALENCIA, TOMÁS ANDRÉS  
NUELA YANCHAPANTA, LUIS MIGUEL**

**TUTOR: ING. ANDRÉS, GORDÓN**



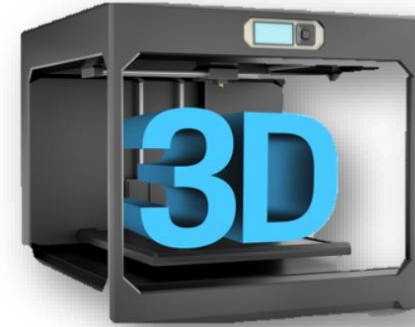
Reconocimiento de la impresión 3D a nivel mundial

Amplio campo de aplicación como: arquitectura, automotriz, aeroespacial, etc.

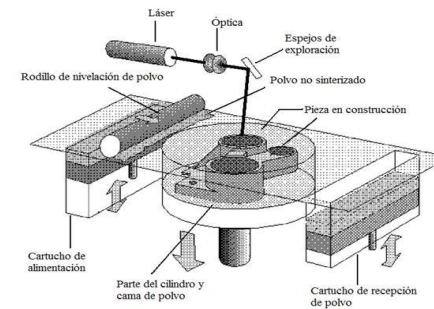
Impresoras 3D SLS comerciales con un alto precio en el mercado

Objetos tridimensionales con mayor detalle y con un alto grado de complejidad

Impresión 3D



Tecnología de Sinterizado Selectivo por Láser



Material de Impresión Poliamida



## OBJETIVO GENERAL



Diseñar e implementar una máquina de prototipado rápido basada en la tecnología de Sinterizado Selectivo por Láser (SLS) que permita la manufactura de objetos tridimensionales

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Investigar



Modelar



Seleccionar



Diseñar y  
Construir



Implementar



Realizar

# DIFERENCIAS ENTRE IMPRESORAS FDM Y IMPRESORA SLS

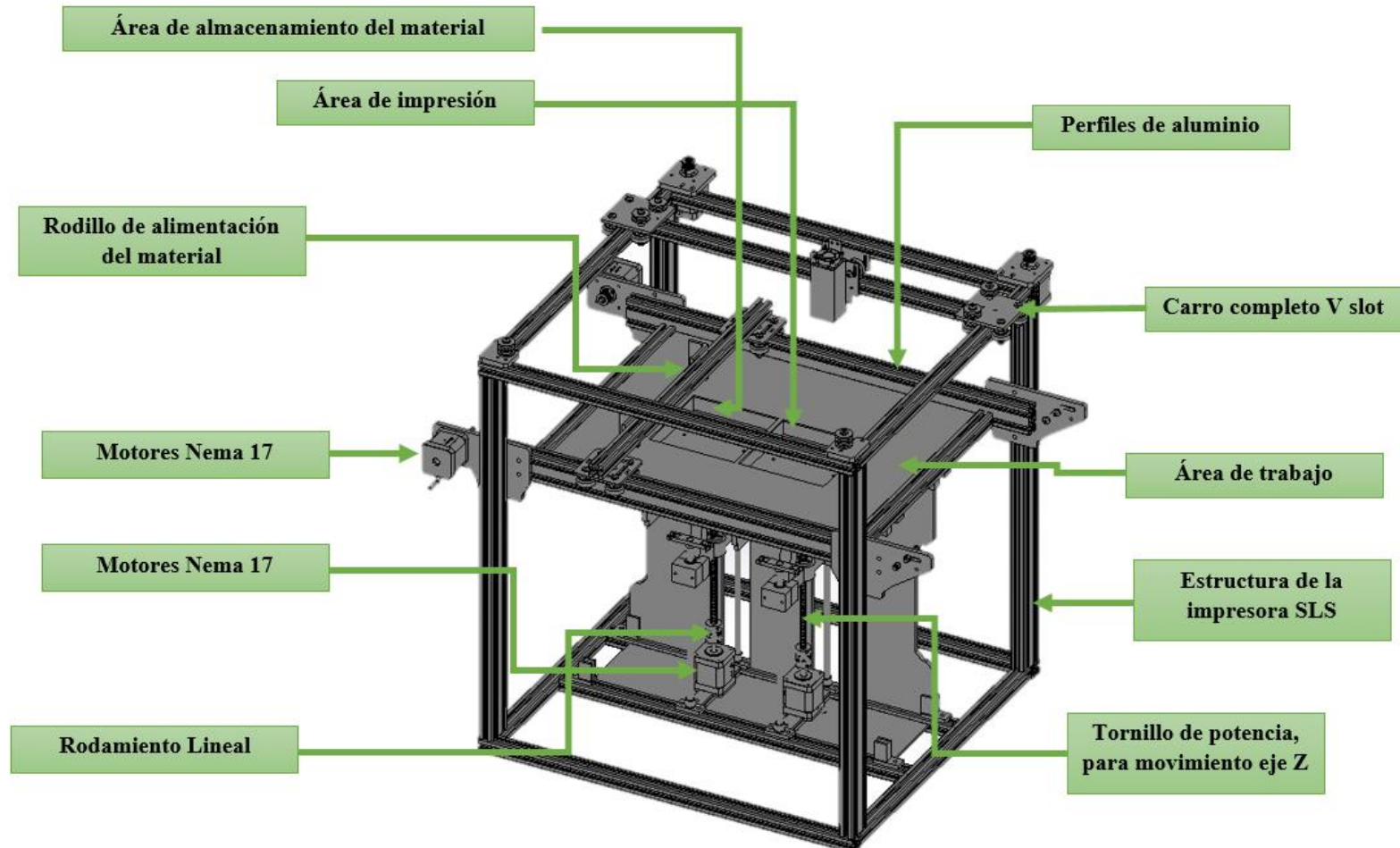


# IMPLEMENTACIÓN DE ELEMENTOS MECÁNICOS

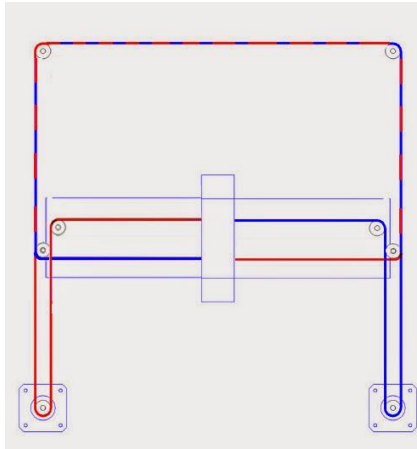




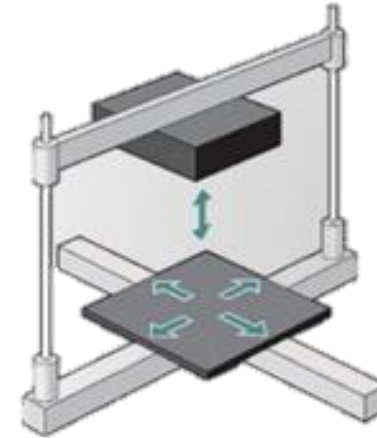
# IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA



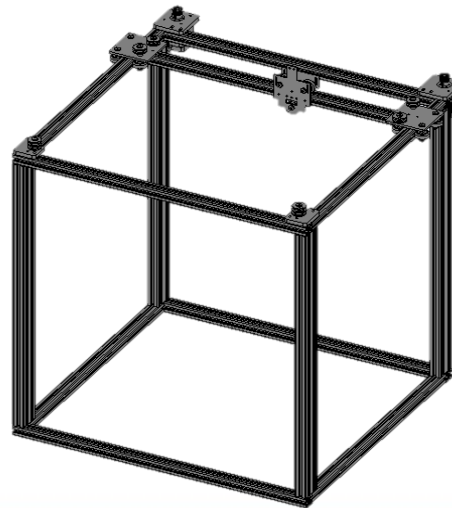
## SISTEMA COREXY



## CONFIGURACIÓN CARTASIANA

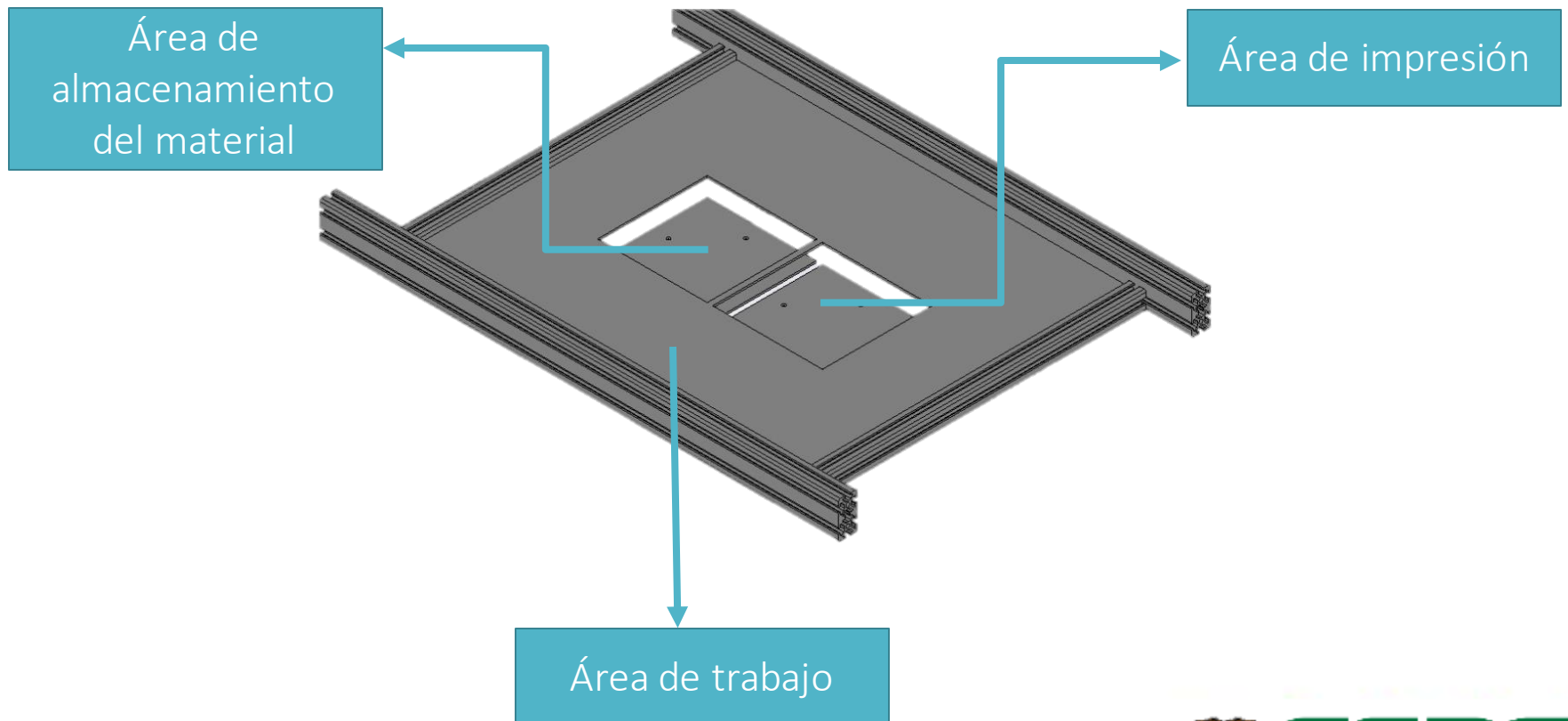


## ESTRUCTURA PRINCIPAL DE LA MÁQUINA

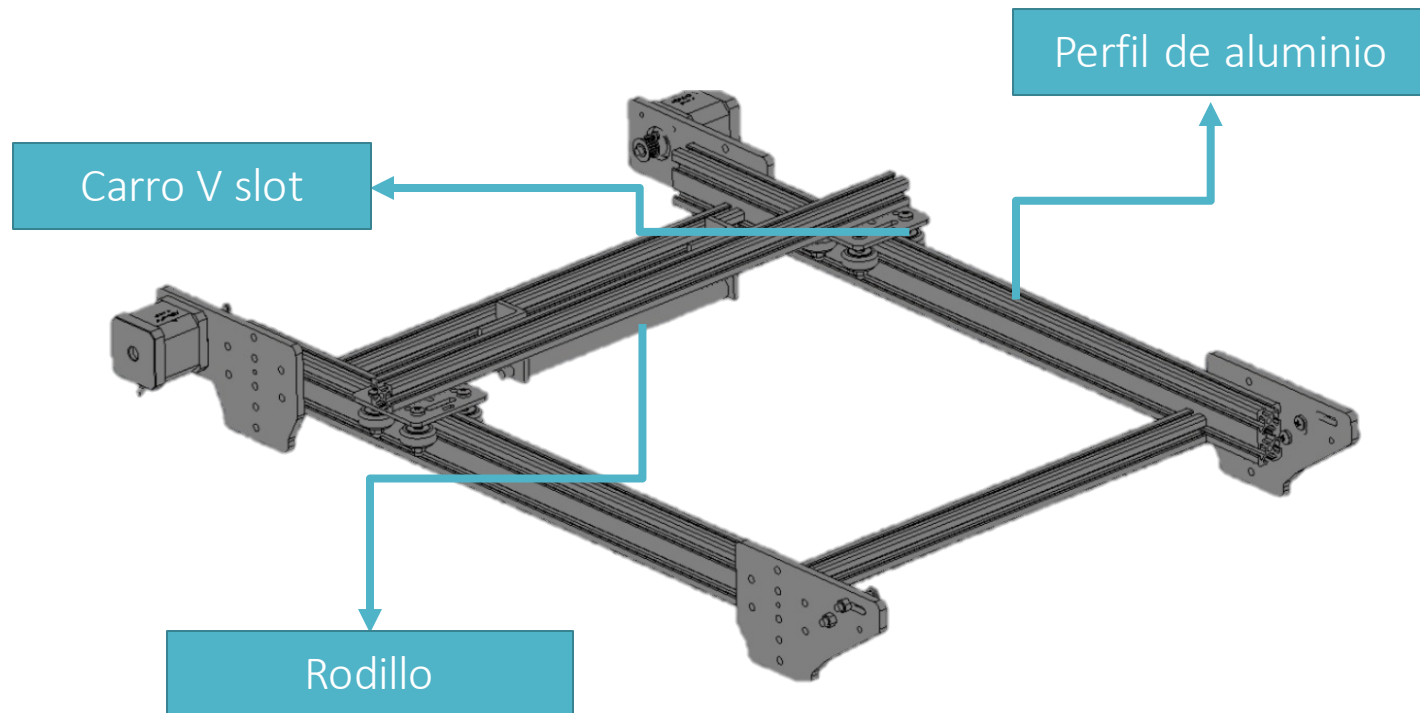




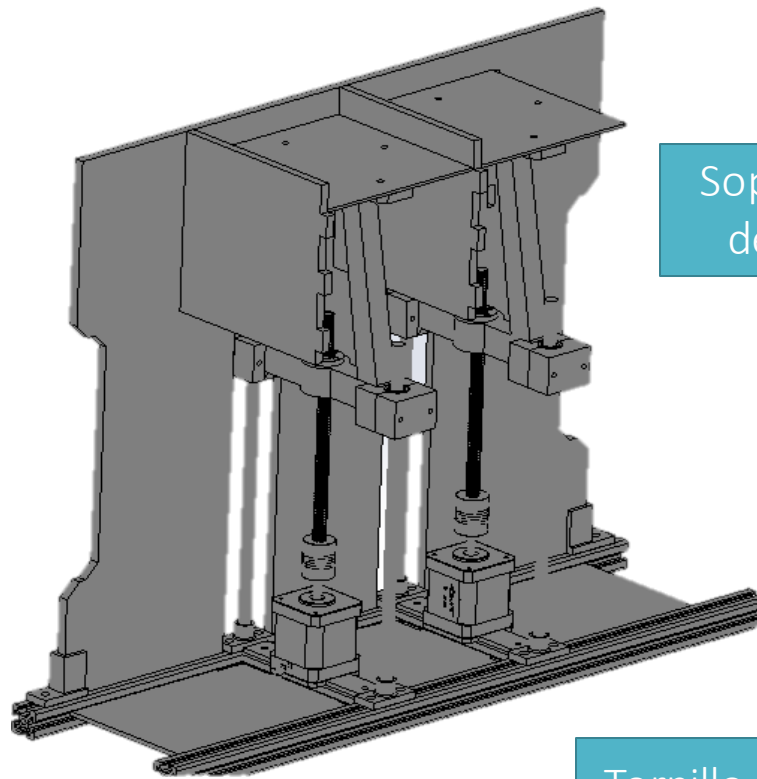
## IMPLEMENTACIÓN DE AREA DE IMPRESIÓN Y ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE MATERIAL



# SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL MATERIAL

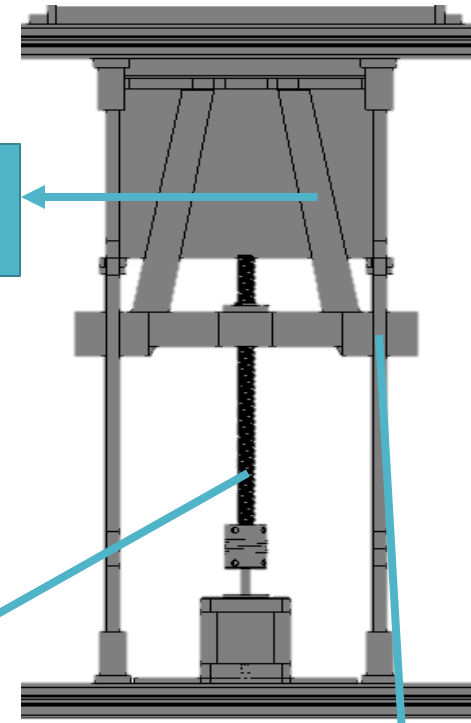


# Implementación sistema de movimiento del eje Z



Soporte de área de impresión

Tornillo de potencia



Rodamiento lineal

## TORQUE DEL MOTOR

$$T = 2 \times I_o \times \frac{\omega'}{t} \times \frac{\pi \cdot \theta}{180}$$

$$I_o = I_{eq} + I_{tornillo} + I_{rotor}$$

$$I_{eq} = w \times \frac{1}{p^2} \times 0.025$$

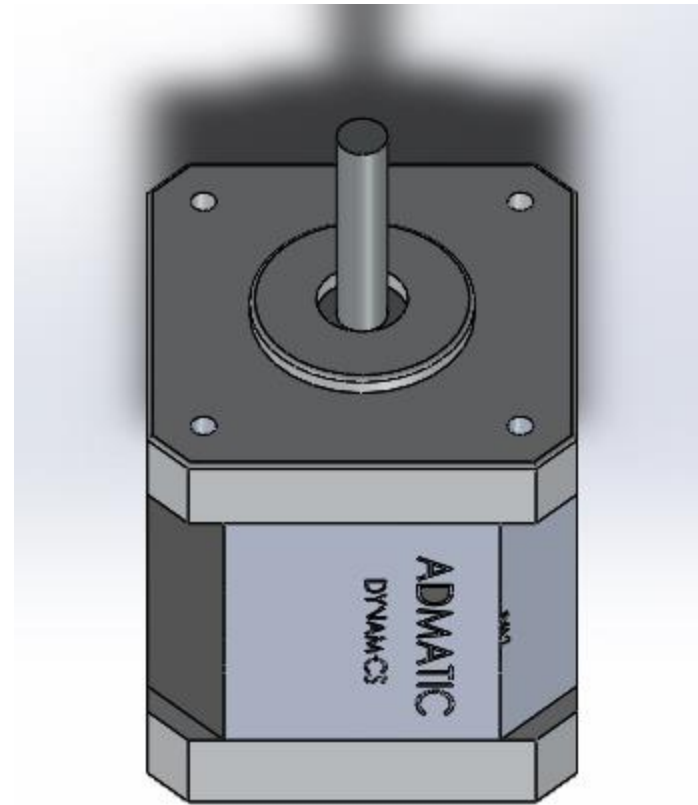
$$I_{eq} = 0.000191 \text{ lb. in}^2$$

$$I_{tornillo} = D^4 \cdot L \cdot 0.028$$

$$I_{tornillo} = 0.001899 \text{ lb. in}^2$$

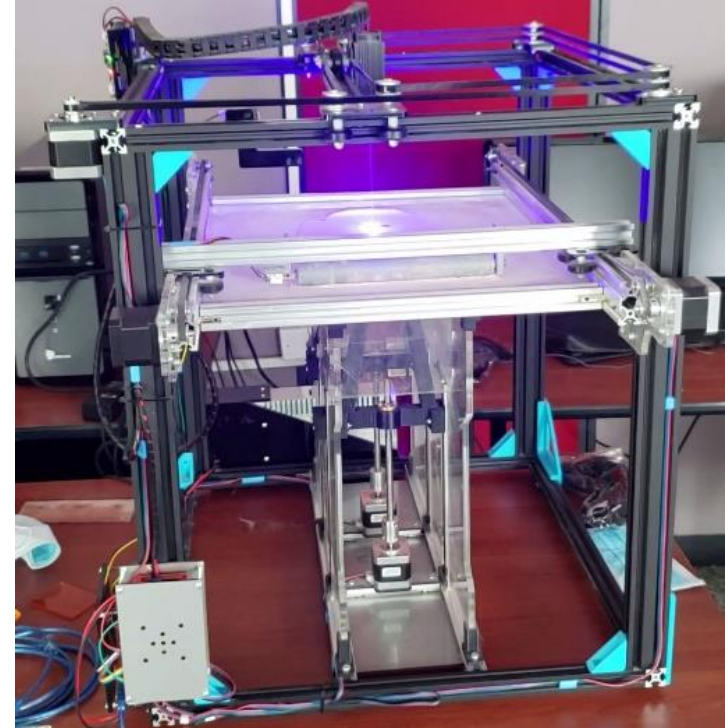
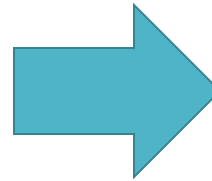
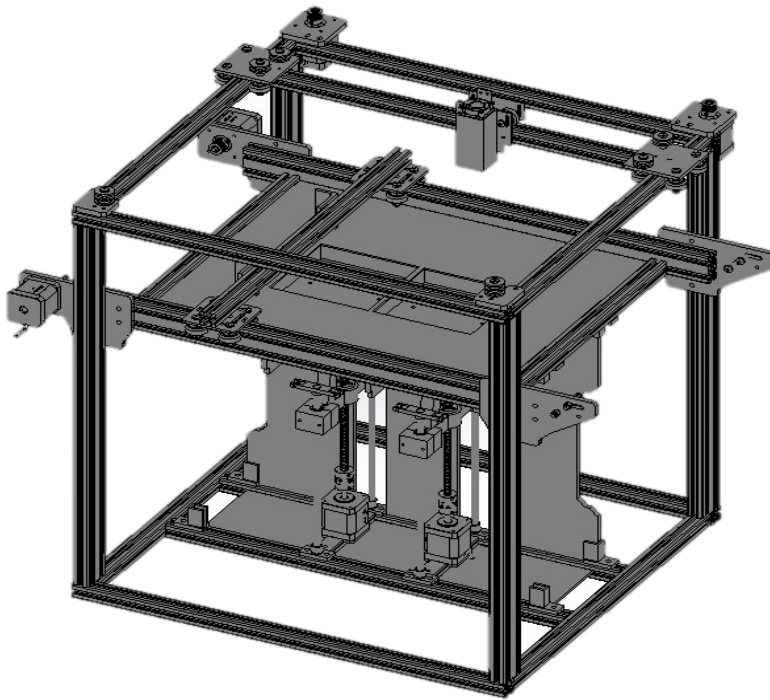
$$I_{rotor} = 0.569 \text{ lb. in}^2$$

$$I_o = 0.57109 \text{ lb. in}^2$$



$$T = 1.99 \text{ oz. in} = 0.014 \text{ Nm}$$

# MÁQUINA ENSAMBLADA



# IMPLEMENTACIÓN DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS





Tarjeta de control RAMPS MKS-  
GEN L V1.0 compatible con Ramps  
1.4 / Mega2560



Sensor fin de carrera



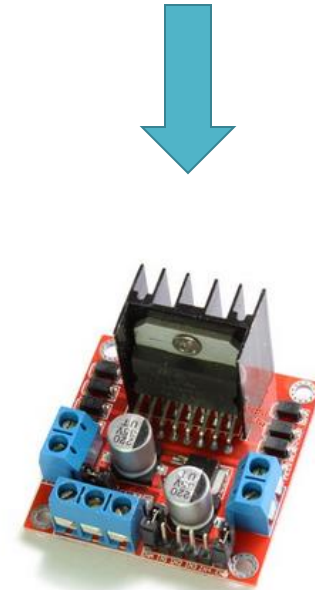
Fuente de alimentación



Motor paso a paso NEMA 17



Driver puente H



# Control de PWM



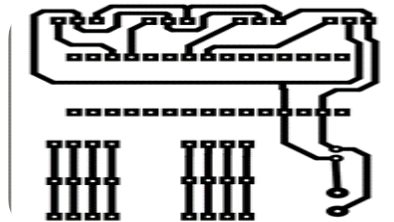
Láser de estado sólido



Tarjeta de control del láser

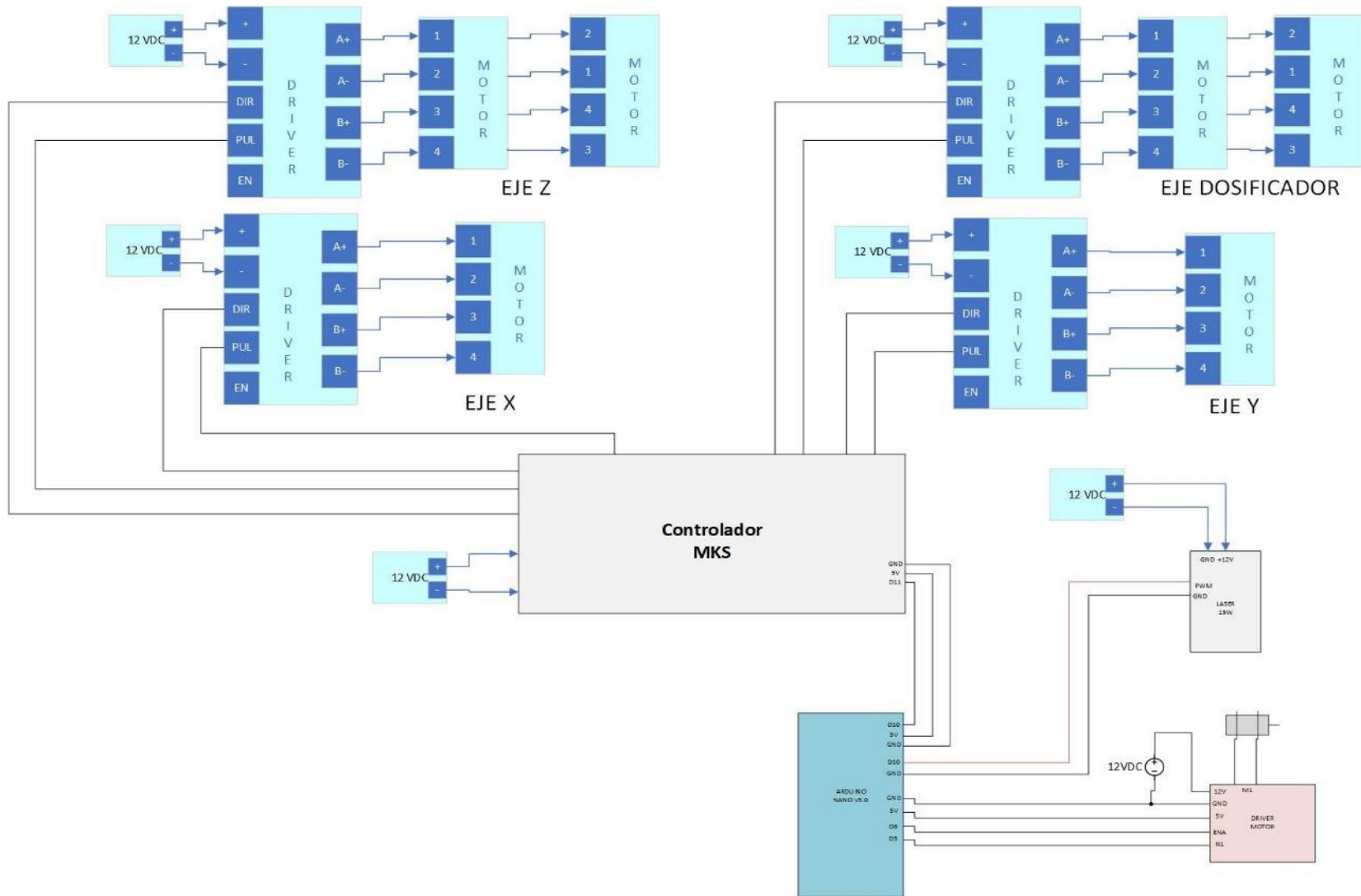


Arduino nano



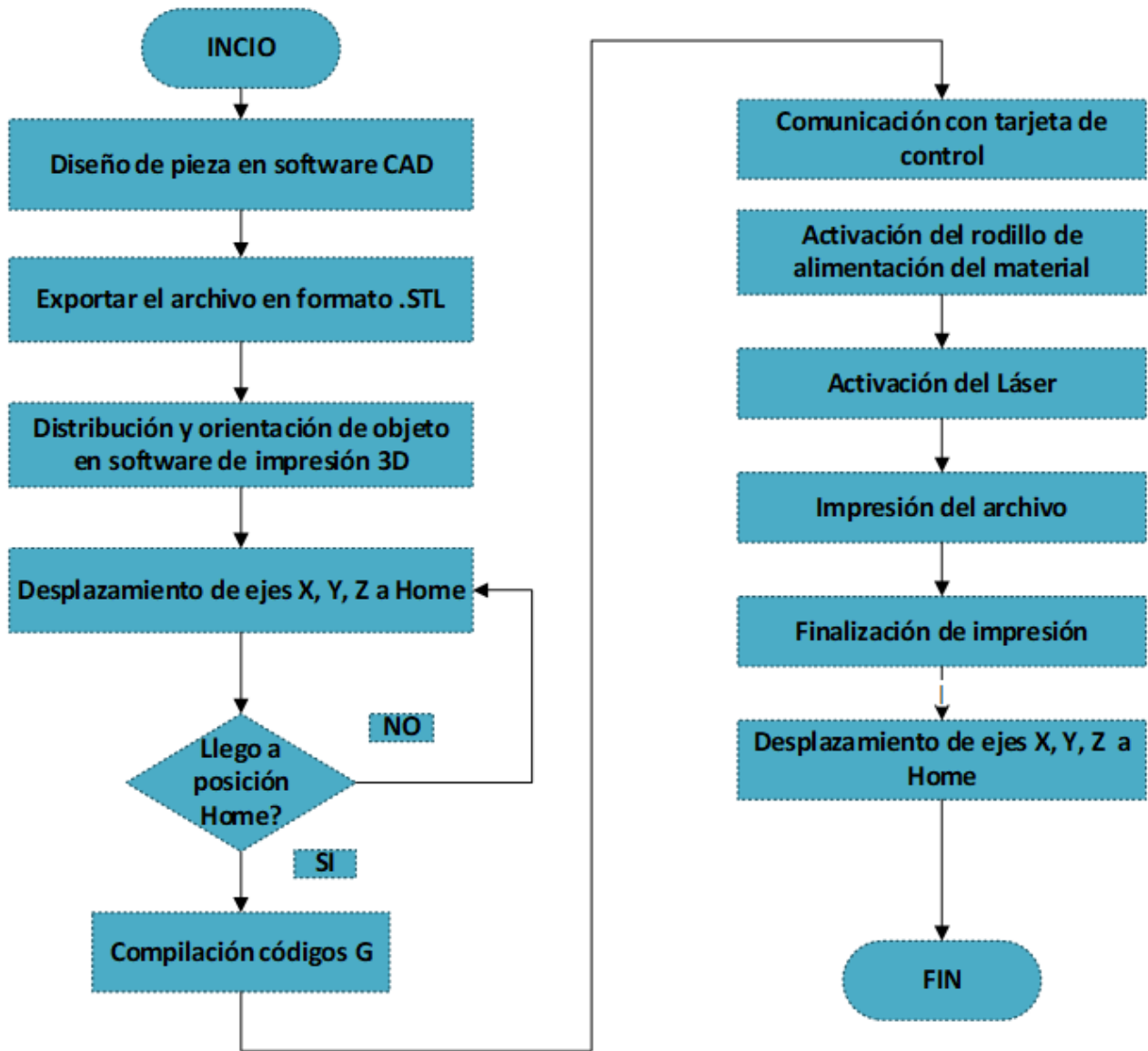
Placa de conexión

# DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL MÁQUINA



# DIAGRAMA DE FLUJO DE IMPRESIÓN 3D SLS







# MATERIAL DE IMPRESIÓN



# MATERIAL DE IMPRESIÓN

**Poliamida Pura**



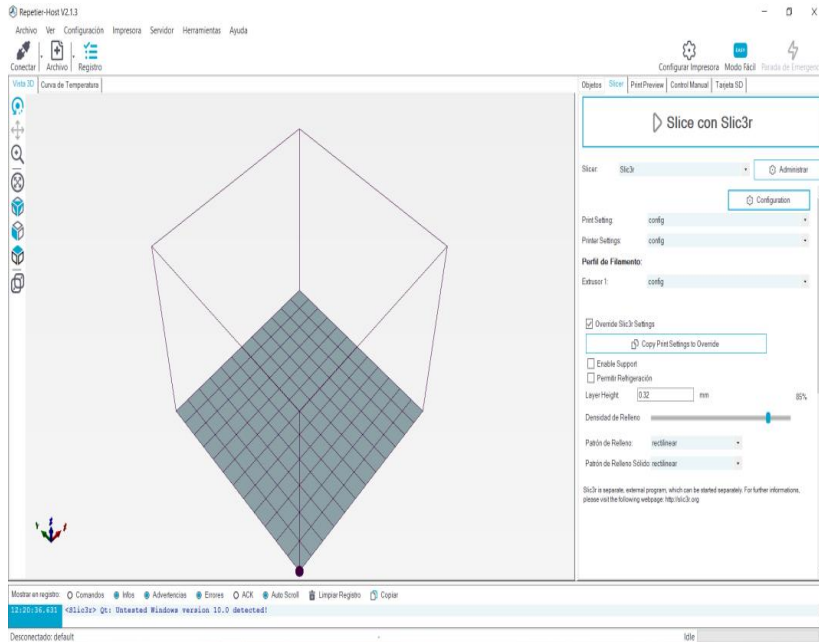
**Poliamida PA12 NYLON**



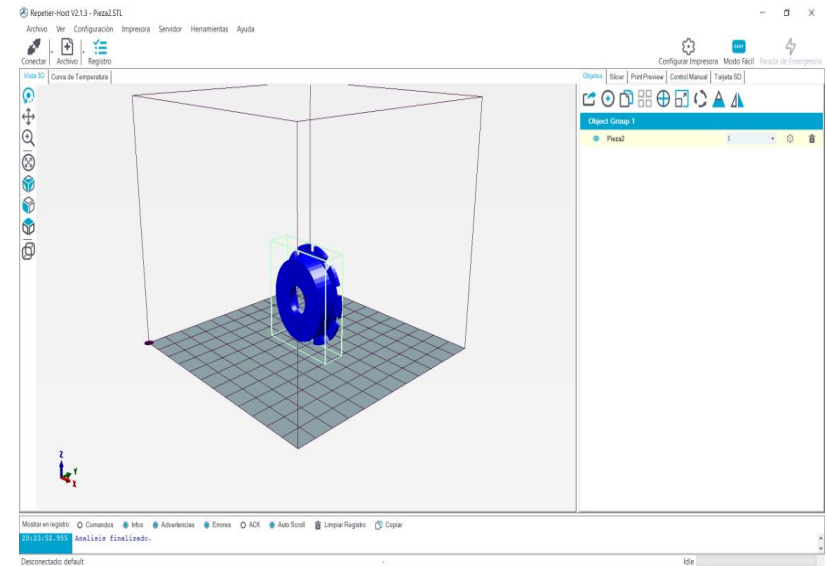
# SOFTWARE DE IMPRESIÓN 3D



# REPETIER HOST



ARCHIVO LISTO PARA IMPRIMIR

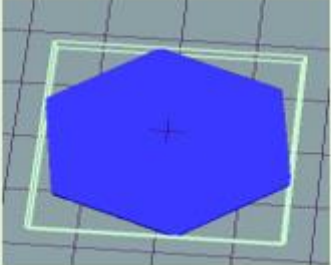


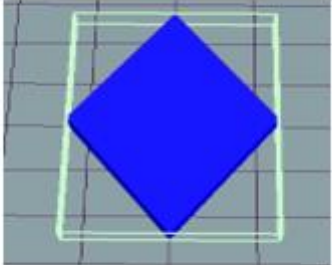


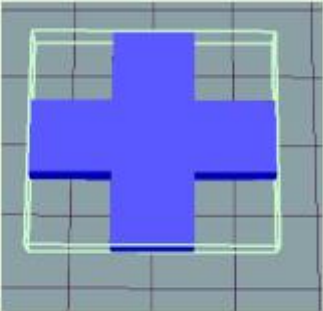




INTERFAZ DEL SOFTWARE

# PRUEBAS Y RESULTADOS

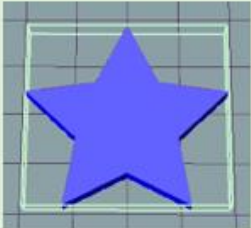


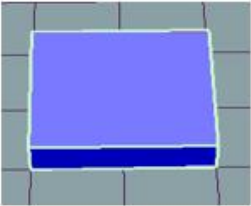


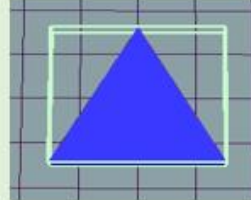


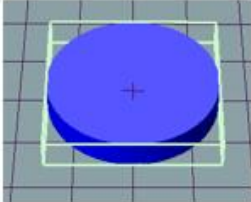




# PRUEBAS DE IMPRESIÓN DE FIGURAS BÁSICAS

Figura Software CAD		Figura impresa en 3D
		
		
		



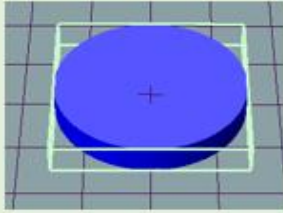

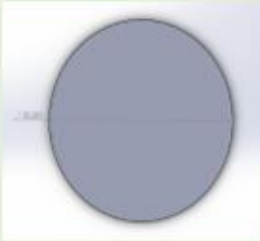

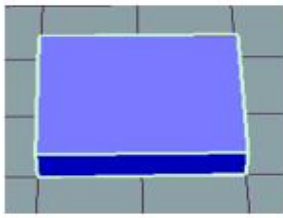



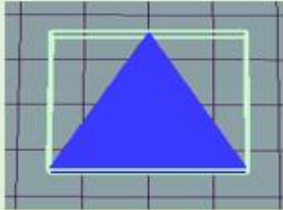
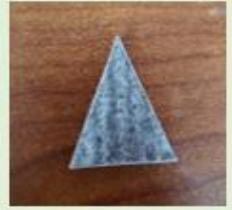


# PRUEBAS DE IMPRESIÓN DE FIGURAS BÁSICAS

Figura Software CAD		Figura impresa en 3D
		
		
		
		

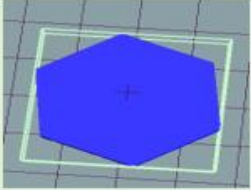



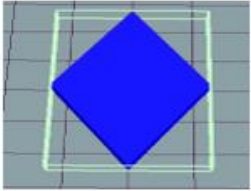



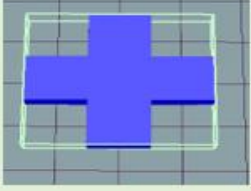







# PRUEBAS DE IMPRESIÓN DE FIGURAS COMPLEJAS

FIGURA		FIGURA IMPRESA EN 3D
		
		
		
		
		

# PRUEBAS DE PRESIÓN EN OBJETOS IMPRESOS EN 3D

Figura en software Repetier	Figura Impresa 3D	Medidas en software Inventor Autodesk	Medidas Reales de la figura tridimensional
			
			
			

# PRUEBAS DE PRESIÓN EN OBJETOS IMPRESOS EN 3D

Figura en software Repetier	Figura Impresa 3D	Medidas en software Inventor Autodesk	Medidas Reales de la figura tridimensional
			
			
			
			

# VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS



# VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

¿El diseño e implementación de una máquina de prototipado rápido basada en tecnología SLS, permitirá crear objetos tridimensionales con un volumen mínimo de impresión (X 10mm Y 10mm Z 10mm)?

- **Hipótesis Nula  $H_0$ :** ¿La máquina de prototipado rápido no permitirá crear objetos tridimensionales?
- **Hipótesis Alternativa  $H_1$ :** ¿La máquina de prototipado rápido permitirá crear objetos tridimensionales?



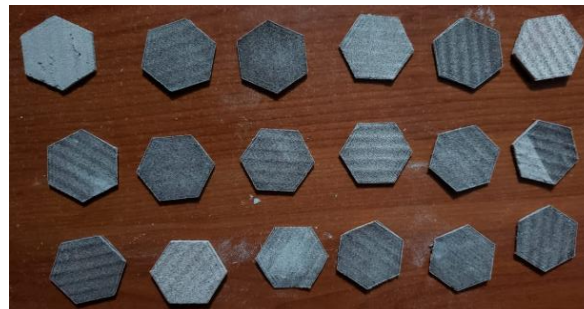
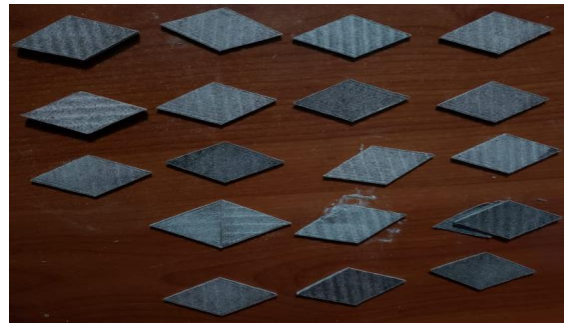
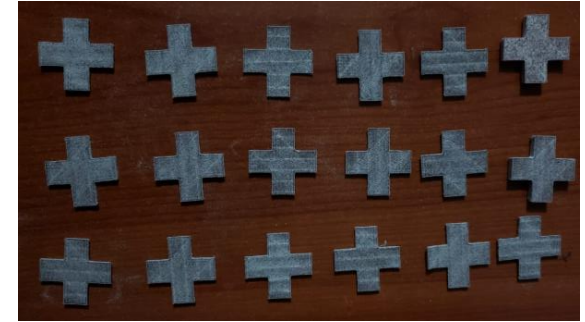
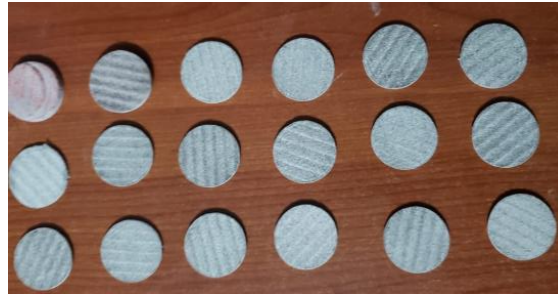
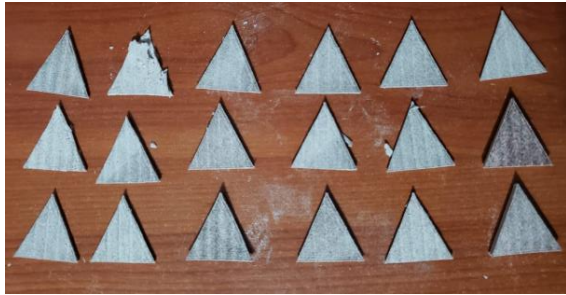
# VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

## Frecuencia Observada

<b>FIGURA</b>	<b>Validas</b>	<b>No Validas</b>	<b>Número de Pruebas</b>
<b>Circulo</b>	17	1	18
<b>Cuadrado</b>	14	4	18
<b>Triangulo</b>	16	2	18
<b>Hexágono</b>	17	1	18
<b>Rombo</b>	16	2	18
<b>Cruz</b>	14	4	18
<b>Estrella</b>	9	9	18
<b>Total</b>	103	23	126



# VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS



# VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

## Frecuencia Esperada

Nº	Figura	Frecuencia Esperada	
1	Circulo	14,7142857	3,285714286
2	Cuadrado	14,7142857	3,285714286
3	Triangulo	14,7142857	3,285714286
4	Hexágono	14,7142857	3,285714286
5	Rombo	14,7142857	3,285714286
6	Cruz	14,7142857	3,285714286
7	estrella	14,7142857	3,285714286
	Total	103	23

## FÓRMULA

$$E_{ij} = \frac{O_i * O_j}{O}$$

# VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

## Chi-Cuadrado calculado

FIGURA	Validas	No Validas
Circulo	0,35506241	1,59006211
Cuadrado	0,03467406	0,1552795
Triangulo	0,11234397	0,50310559
Hexágono	0,35506242	1,59006211
Rombo	0,11234397	0,50310559
Cruz	0,03467406	0,1552795
Estrella	2,21914007	9,9378882
Total	3,22330097	14,4347826
Chi Cuadrado		17,6580836

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_j - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad x_{cal}^2 = 17,658$$

$$V = (Filas - 1)(Columnas - 1)$$

$$V = 6$$

$$x_{cal_{tab}}^2 = 14.449 \approx 97 \% \text{ de efectividad}$$

$$x_{cal}^2 \geq x_{cal_{tab}}^2$$

$$17,6040782 \geq 14,449$$

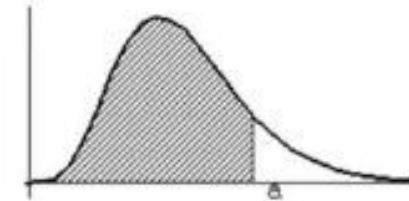
# TABLA DE DISTRIBUCIÓN DEL CHI-CUADRADO

## La Distribución $\chi^2$

- Cálculo de probabilidades de la  $X^2$

PERCENTILES DE LA DISTRIBUCIÓN  $\chi^2$

$F(a) = P(X \leq a)$



$n$	0,995	0,99	0,975	0,95	0,9	0,75	0,5	0,25	0,05	0,025	0,01	0,005
1	7,879	6,635	5,024	3,841	2,706	1,323	0,455	0,102	0,004	0,001	0,000	0,000
2	10,597	9,210	7,378	5,991	4,605	2,773	1,386	0,575	0,103	0,051	0,020	0,010
3	12,838	11,345	9,348	7,815	6,251	4,108	2,366	1,213	0,352	0,216	0,115	0,072
4	14,860	13,277	11,143	9,488	7,779	5,385	3,357	1,923	0,711	0,484	0,297	0,207
5	16,750	15,086	12,833	11,070	9,236	6,626	4,351	2,675	1,145	0,831	0,554	0,412
6	18,548	16,812	14,449	12,592	10,645	7,841	5,348	3,455	1,635	1,237	0,872	0,676
7	20,278	18,475	16,013	14,067	12,017	9,037	6,346	4,255	2,167	1,690	1,239	0,989
8	21,955	20,090	17,535	15,507	13,362	10,219	7,344	5,071	2,733	2,180	1,646	1,344
9	23,589	21,666	19,023	16,919	14,684	11,389	8,343	5,899	3,325	2,700	2,088	1,735
10	25,188	23,209	20,483	18,307	15,987	12,549	9,342	6,737	3,940	3,247	2,558	2,156
11	26,757	24,725	21,920	19,675	17,275	13,701	10,341	7,584	4,575	3,816	3,053	2,603
12	28,300	26,217	23,337	21,026	18,549	14,845	11,340	8,438	5,228	4,404	3,571	3,074



# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES





# CONCLUSIONES

- Se desarrolló y se implementó una máquina de prototipado rápido con tecnología SLS (Sinterizado Selectivo por Láser) con un área de impresión de 12x12x12 cm para la obtención de objetos tridimensionales con un volumen mínimo de 10mmx10mmx10 mm.
- Se realizaron pruebas para verificar el correcto funcionamiento de la máquina de prototipado rápido, mediante la impresión de algunos objetos tridimensionales como figuras geométricas básicas y figuras elaboradas con un grado de complejidad levemente alto, así se pudo determinar que la máquina funciona de manera correcta y eficiente obteniendo objetos tridimensionales.

## CONCLUSIONES

- Se realizaron pruebas para determinar la precisión de la máquina al obtener objetos en 3D, para lo cual se realizó una comparación entre medidas reales del objeto con las medidas obtenidas mediante el software Inventor Autodesk, así se logró determinar que la máquina tiene una precisión de 0.2mm.
- Se implementó una tarjeta de control Ramps para el control de los motores paso a paso nema 17, mientras que la potencia del láser se controla mediante un Arduino nano que controla el PWM para realizar el sinterizado, así mismo la tarjeta de control se comunica con el motor del rodillo de alimentación del material para que la distribución sea uniforme durante todo el proceso.
- Mediante la utilización de tornillos de potencias ACME TR8X2 acoplados correctamente con rodamiento lineales LM8UU para el movimiento del eje Z, se obtuvo un movimiento uniforme, así se logró impresiones de alta calidad.



# RECOMENDACIONES

- Para realizar el proceso de sinterizado selectivo por láser se debe rellenar manualmente con poliamida en polvo el depósito del material, mediante la utilización de guantes y una mascarilla.
- Se sugiere utilizar la poliamida en polvo para el sinterizado ya que es un material óptimo que posee características esenciales para obtener objetos tridimensionales.
- El operario de máquina podrá realizar objetos tridimensionales levemente complejos sin exceder el área de impresión.
- Si debe realizar un mantenimiento preventivo a los elementos electrónicos del sistema, con el fin de evitar que partículas ajenas les causen daño.
- Durante el proceso de sinterizado se recomienda la utilización de gafas especiales para visión láser, con el fin precautelar la integridad de la visión del operario.
- El operario de la máquina debe realizar la verificación que el material no posea grumos con el fin de garantizar que el sistema de alimentación administre de forma uniforme el material de impresión.

# GRACIAS

