



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



“INVESTIGACIÓN, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE IMPRESORA 3D PARA LA FABRICACIÓN DE FORMAS TRIDIMENSIONALES A BASE DE POLÍMEROS HIDROFÍLICOS”

Autores:

Navarrete Socasi, Juan Carlos
Paucar Bastidas, Pedro Bladimir

Director:

Msc. Andrés Marcelo Gordón Garcés



CONTENIDO DE LA PRESENTACIÓN

RESUMEN

ASPECTOS GENERALES

FUNDAMENTACION TEORICA

ESTADO DEL ARTE

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

IMPLEMENTACION DE LOS SISTEMAS

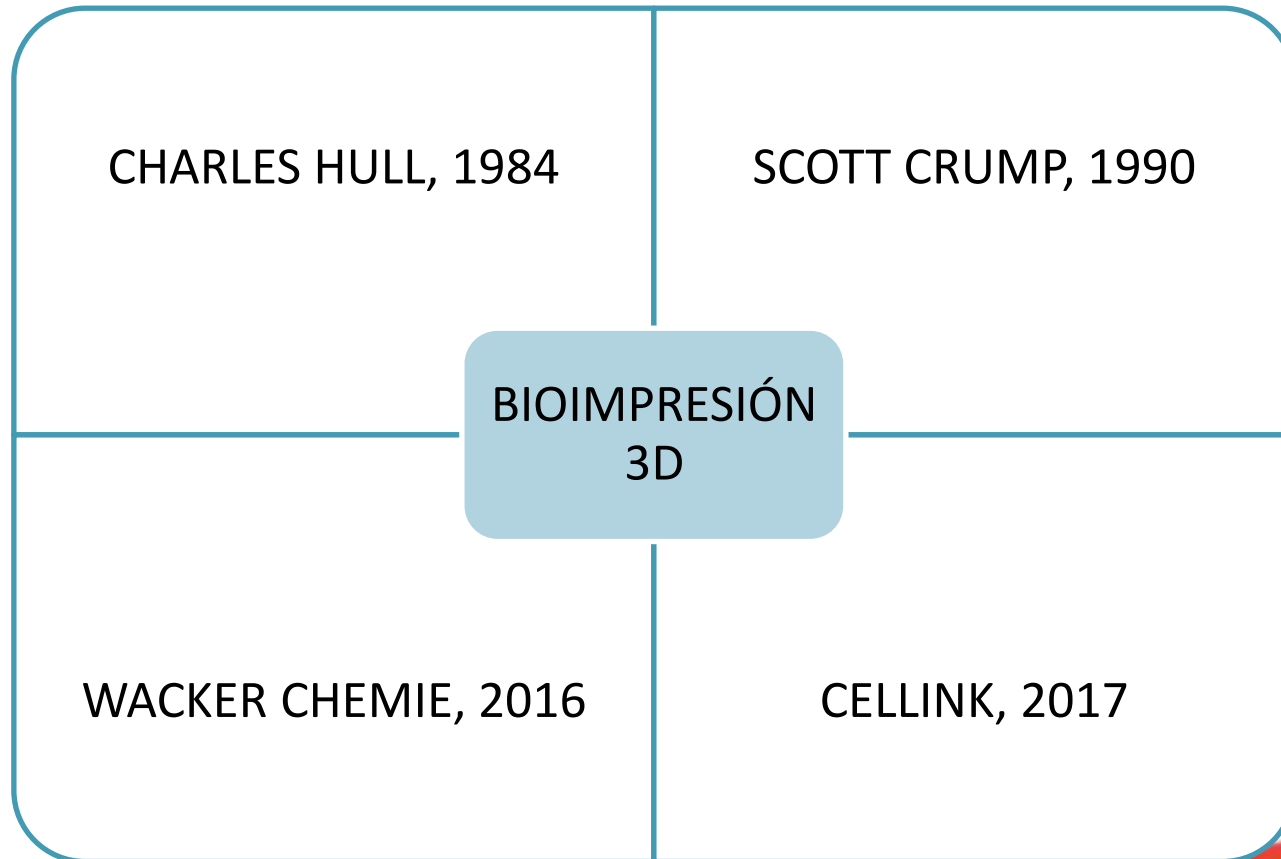
PRUEBAS Y RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de titulación busca desarrollar un método de impresión 3D en el que se utilicen polímeros hidrofílicos como material de trabajo, debido a que los mismos poseen propiedades de biocompatibilidad y por lo tanto pueden ser utilizados como sustrato para las células vivas en la fabricación de órganos o tejidos humanos a futuro. A más de esto los procesos de polimerización de un polímero hidrofílico se dan a temperatura ambiente (25°C) con lo cual se garantiza que las células no recibirán daño térmico durante el proceso de impresión.

ANTECEDENTES

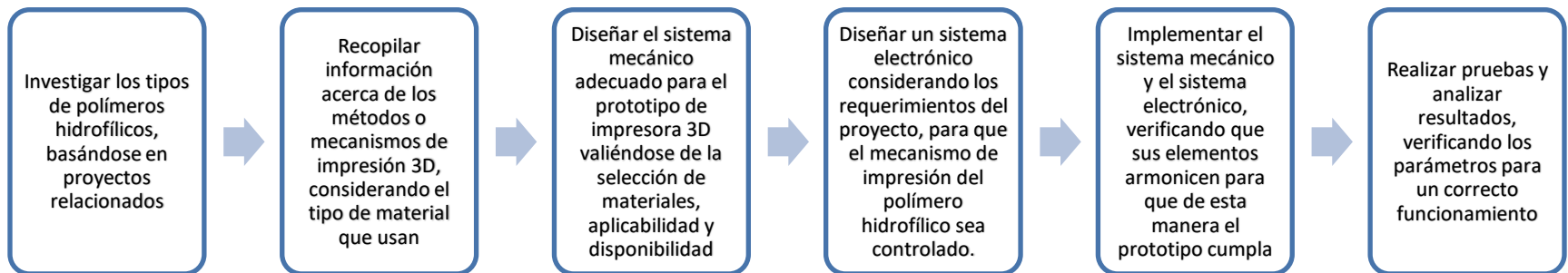


OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Investigar, diseñar e implementar un prototipo de impresora 3D para la fabricación de formas tridimensionales a base de polímeros hidrofílicos.

OBJETIVO ESPECIFICOS

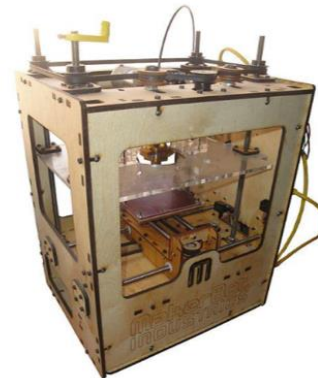


FUNDAMENTACIÓN TEORICA

QUE ES LA IMPRESIÓN 3D Y REPRAP

La impresión 3d es un método utilizado para crear objetos físicos a partir de diseños digitales.

El RepRap es un proyecto que nace con el objetivo principal de que el mundo construya sus propias impresoras 3d, RepRap cuenta con una licencia que permite copiar estudiar y mejorar sus diseños y código fuente



FUNDAMENTACIÓN TEORICA

TIPOS DE
IMPRESORAS 3D

DLP

SLM

FDM

SLA

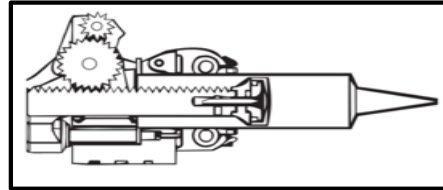
SLS

FUNDAMENTACIÓN TEORICA

EXTRUSORES DE BIOMATERIAL

Sistema mecánico

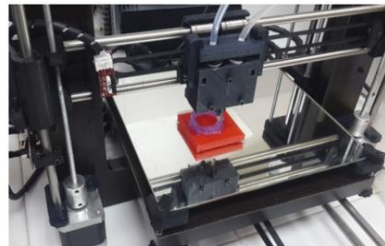
Cremallera:



Tuerca:

Sistema neumático

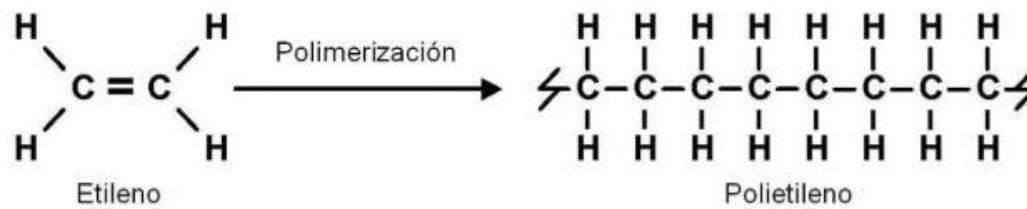
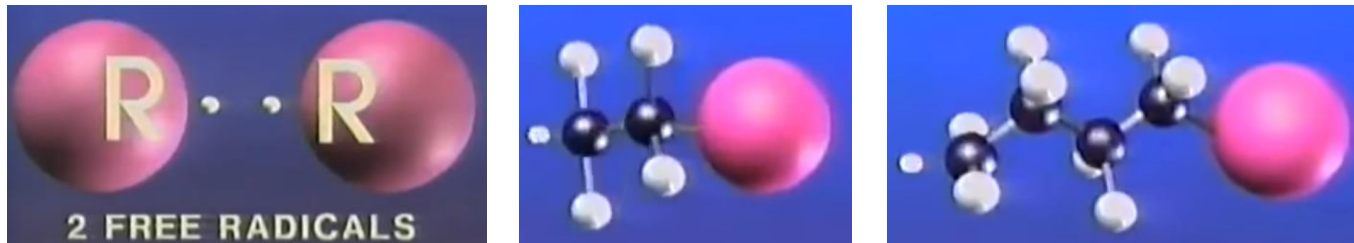
Consiste en empujar el material con la ayuda de la fuerza del aire comprimido



FUNDAMENTACIÓN TEORICA

POLÍMEROS

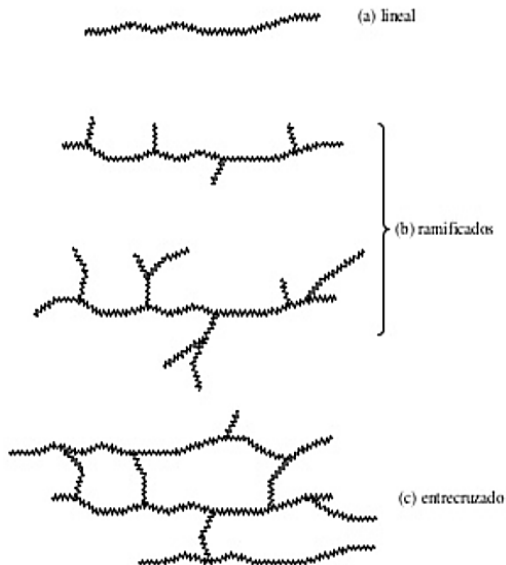
Se forman a partir de monómeros, alcanzan un gran peso molecular, pueden ser biológicos y no biológicos.



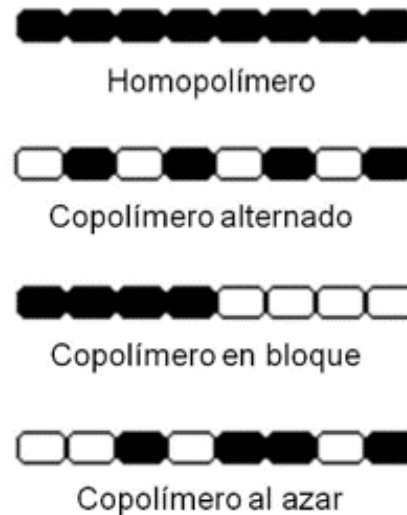
FUNDAMENTACIÓN TEORICA

CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS

- Según su estructura



- Según la unión de sus monómeros



- Según su comportamiento térmico



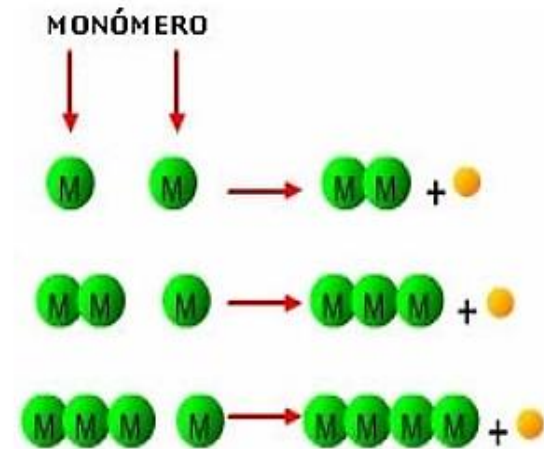
FUNDAMENTACIÓN TEORICA

POLIMERIZACIÓN

Por adición, por condensación

POLÍMERO HIDROFÍLICO

Polímero reticulado generalmente constituido por moléculas orgánicas, de peso molecular elevado, con capacidad para captar agua con cierta facilidad.



FUNDAMENTACIÓN TEORICA

ESTADO DEL ARTE

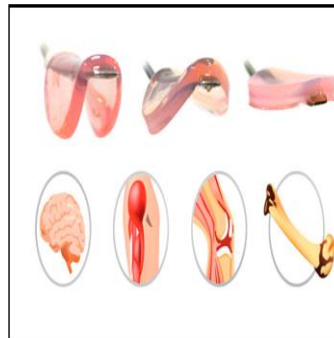
BIO X PRINTER



RX1 BIO PRINTER



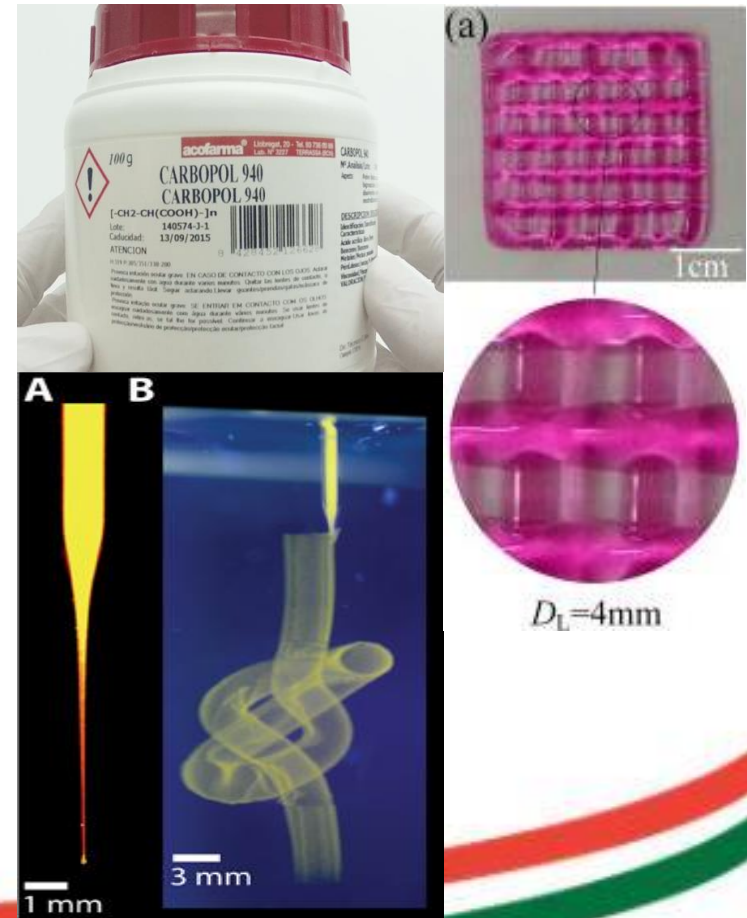
BIOGEL X



DISEÑO Y SELECCIÓN

Selección del polímero hidrofílico

- Carbopol EDT 2020
- Mezcla de Alginato de Sodio y Gelatina
- Carbopol 940



Criterios de selección	Conceptos (Alternativas de diseño)			
		Opción 1	Opción 2	Opción 3
Estructura reticular	+	-	+	
Versatilidad	0	0	0	
Biocompatibilidad	+	+	+	
Disponibilidad en el m.	-	-	+	
Suma +	2	1	3	
Suma 0	1	1	1	
Suma-	1	2	0	
Evaluación neta	1	-1	3	

DISEÑO Y SELECCIÓN

Conformación del polímero biocompatible

- Cloruro de Calcio
- Agua destilada
- Trietanolamina
- Ácido orgánico tricarboxílico



DISEÑO Y SELECCIÓN

ENSAYOS

Para conformar el compuesto adecuado se emplea una serie de ensayos en los se varían las proporciones y combinaciones de cada uno de los elementos químicos con el Carbopol 940. A partir de esto se determina datos de densidad, adherencia, consistencia, solidez y fluidez. En total se realizaron 12 ensayos



DISEÑO Y SELECCIÓN

ENSAYO 1

Polímero resultante1: Carbopol 940, agua destilada y trietanolamina

Análisis de determinación de características

- Densidad:

$$d_t = \frac{m_t}{v_t}$$

$$m_t = 6,72g$$

$$m_{H_2O} = 1 \frac{g}{ml} * 8ml$$

$$m_T = m_{H_2O} + m_t + m_c$$

$$V_T = V_{H_2O} + V_t + V_c$$

$$D_1 = \frac{m_T}{V_T} = \frac{18,72g}{25,05cm^3} = 0,747 \frac{g}{cm^3}$$



DISEÑO Y SELECCIÓN

Adherencia:

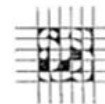
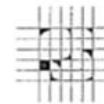
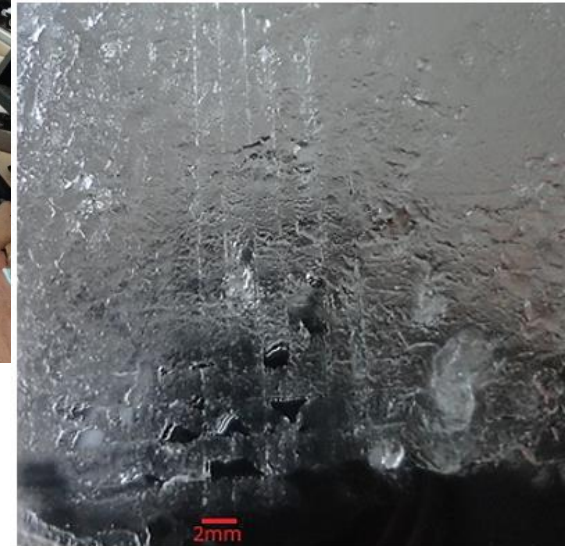
ASTM D3359 – 09

Solidez:

Escala empírica

Fluidez:

ISO 1133 y ASTM D1238



DISEÑO Y SELECCIÓN

Parámetros de los polímeros resultantes

ENSAYO 1 - Proporciones				
Carbopol	Agua dest. H_2O	Trietanolamina $(C_6H_{15}NO_3)$	Ácido tricarboxílico	Cloruro de calcio
4 gr	8 ml	6 ml	0 gr	0 ml
Resultados inmediatos				
Densidad	Adherencia	Consistencia	Solidez	Fluidez
$0,747\text{ g/cm}^3$	2B	sólido	3	$4\text{ g}/10\text{ min}$
Resultados en 24 horas bajo refrigeración				
$0,747\text{ g/cm}^3$	2B	sólido	3	$4\text{ g}/10\text{ min}$
Resultados 24 horas en exteriores				
$0,747\text{ g/cm}^3$	1B	sólido	4	$3\text{ g}/10\text{ min}$

ENSAYO 2 - Proporciones			
Test.	Trietanolamina $(C_6H_{15}NO_3)$	Ácido tricarboxílico	Cloruro de calcio
0 ml	4 gr	10 ml	
Resultados inmediatos			
Adherencia	Consistencia	Solidez	Fluidez
	sólido	2	$200\text{ g}/10\text{ min}$
Resultados en 24 horas bajo refrigeración			
	sólido	2	$200\text{ g}/10\text{ min}$
Resultados 24 horas en exteriores			
	sólido	3	$150\text{ g}/10\text{ min}$

Proporciones		
Trietanolamina $(C_6H_{15}NO_3)$	Ácido tricarboxílico	Cloruro de calcio
0 gr	6 ml	0 ml
Resultados inmediatos		
Adherencia	Solidez	Fluidez
	4	$20\text{ g}/10\text{ min}$
Resultados en 24 horas bajo refrigeración		
	4	$20\text{ g}/10\text{ min}$
Resultados en exteriores		
	5	$0\text{ g}/10\text{ min}$

DISEÑO Y SELECCIÓN

Criterio de selección para el polímero resultante

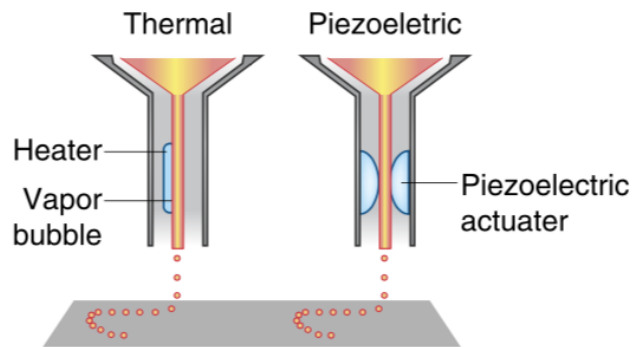
Matriz de Pugh

Criterios de selección	Conceptos (Alternativas de diseño)			
		Polímero resultante 1	Polímero resultante 2	Polímero resultante 3
	Densidad	-	-	+
	Adherencia	0	+	-
	Consistencia	0	0	0
	Solidez	+	-	+
	Fluidez	-	+	0
	Suma +	1	2	2
	Suma 0	2	1	2
	Suma-	2	2	1
	Evaluación neta	-1	0	1

DISEÑO Y SELECCIÓN

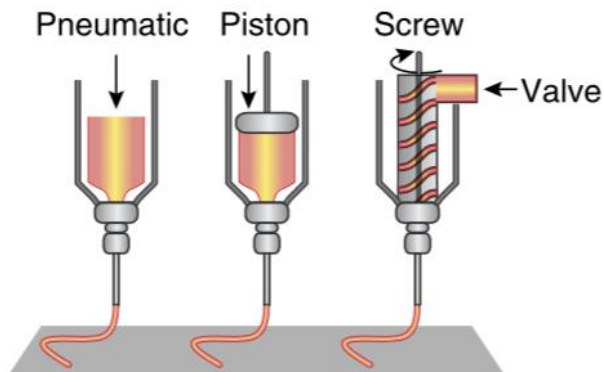
Selección del método de extrusión

- Inkjet



Criterios de selección	Conceptos (Alternativas de diseño)	
	<u>Inkjet</u>	<u>Microextrusión</u>
Viabilidad celular	+	+
Facilidad de implementación	-	+
Uniformidad de extrusión	-	0
Suma +	1	2
Suma 0	0	1
Suma-	-2	0
Evaluación neta	-1	2

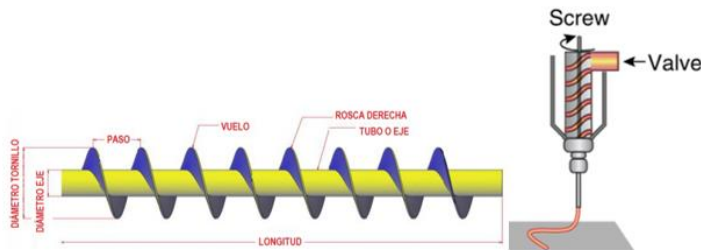
- Microextrusión



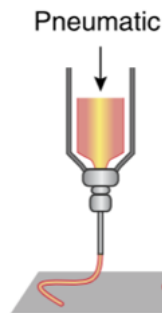
DISEÑO Y SELECCIÓN

Selección del sistema de deposición de material

- Tornillo sin fin



- Sistema Neumático

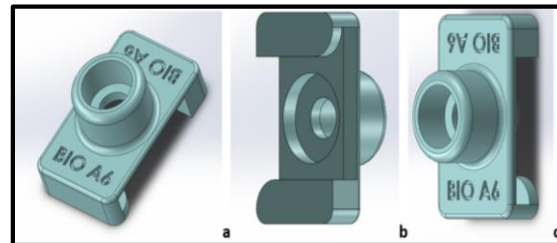
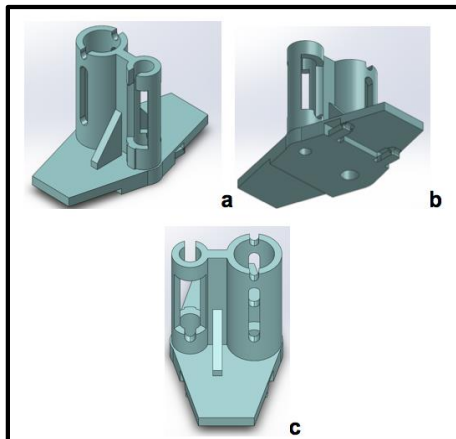


Criterios de selección	Conceptos (Alternativas de diseño)	
	Tornillo sin fin	Neumático
Fuerza	-	+
Mecanismo de accionamiento simple	-	+
Control espacial	+	-
Facilidad de implementación	-	+
Suma +	1	3
Suma 0	0	0
Suma-	3	1
Evaluación neta	-2	2

DISEÑO Y SELECCIÓN

Diseño mecánico del extrusor

- Base
- Cabezal
- Sistema de deposición



Compresor



Tubo Neumático PU

Tubos técnicos	Materiales	Fluidos	Presión máxima	Temperatura		Resistencia en entornos agresivos	
				Min.	Máx.	Mecánica	Química
PU	Poliuretano poliéster	Aire comprimido,	12Bar	-20°C	+70°C	Excelente	Buena
	Poliuretano poliéter	fluidos industriales					
	Poliuretano cristal	o agroalimentarios					

DISEÑO Y SELECCIÓN

Selección del material de construcción del extrusor

- ABS
- PLA



Criterios de selección	Conceptos (Alternativas de diseño)	
	ABS	PLA
Robustez	+	-
<u>Biodegradabilidad</u>	-	+
No toxicidad	-	+
Biocompatibilidad	0	+
Suma +	1	3
Suma 0	1	0
Suma-	2	1
Evaluación neta	-1	2

DISEÑO Y SELECCIÓN

Análisis estático del extrusor

malla: Malla sólida

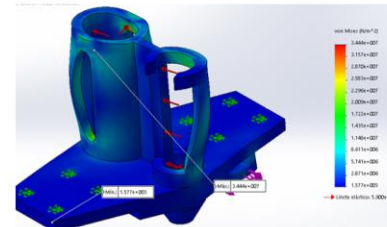
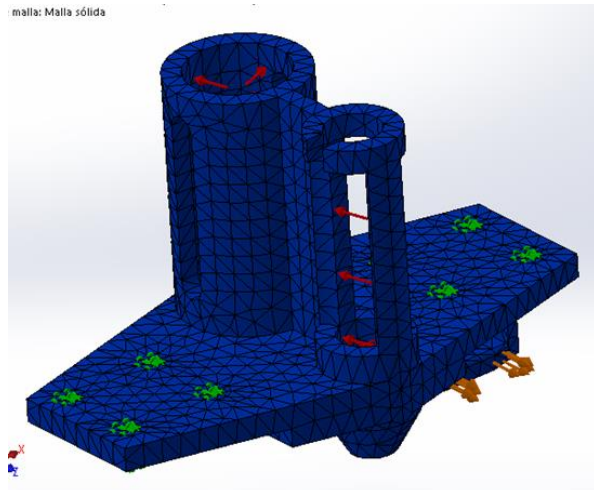


Figura 76. Máxima tensión de Von Mises

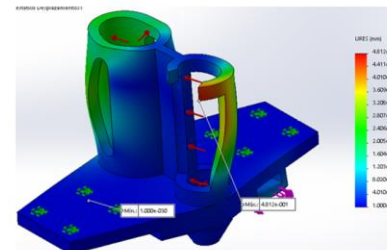
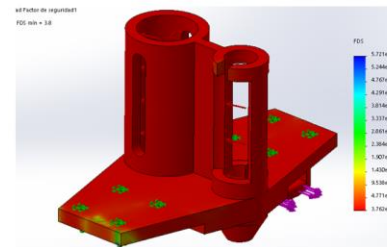


Figura 77. Desplazamientos estáticos



DISEÑO Y SELECCIÓN

Análisis estático del cabezal

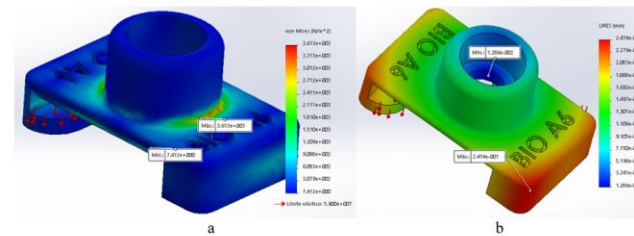
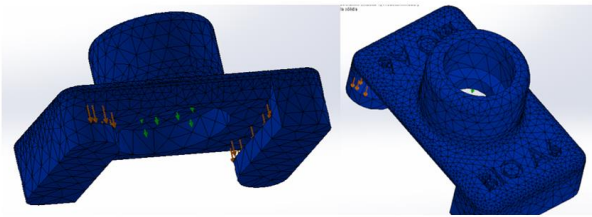


Figura 80. a) Tensión nodal de Von Mises, b) Desplazamientos estáticos

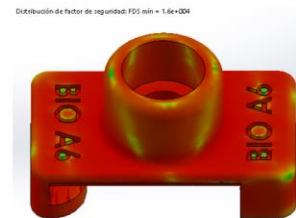
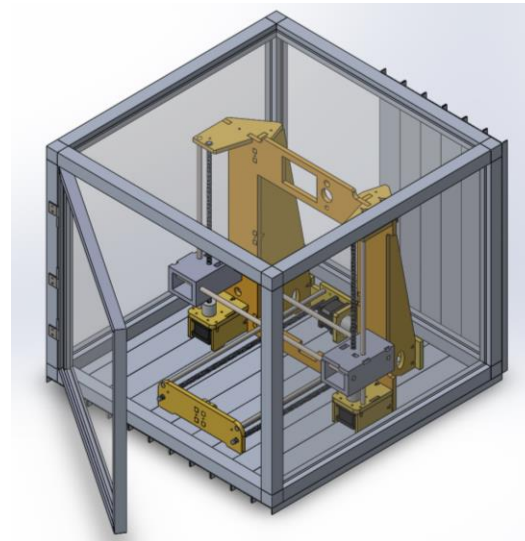
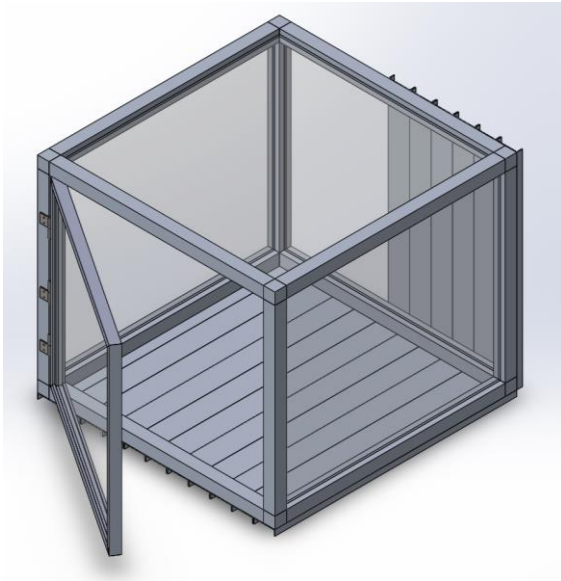


Figura 81. Factor de seguridad

DISEÑO Y SELECCIÓN

Diseño del módulo contenedor de la impresora 3D



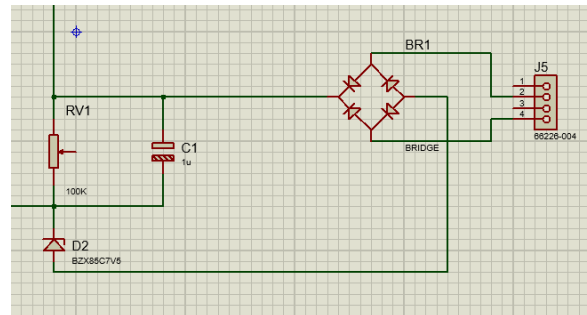
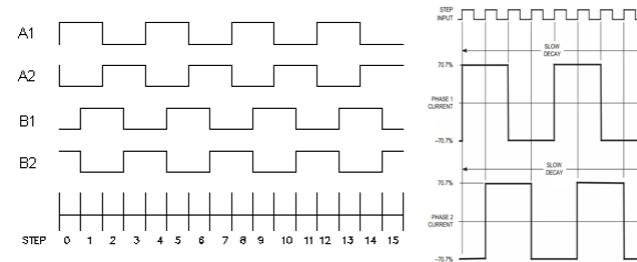
DISEÑO Y SELECCIÓN

Diseño del control electrónico

Si bien el control de los motores paso a paso, finales de carrera y HMI lo ejecuta la Anet Mainboard (A1284-Base) de la impresora, el control de electroválvula, iluminación y acondicionamiento de señales se la asigna a otra tarjeta de control, diseñada para que trabaje a la par con las señales proporcionadas por la Mainboard.

DISEÑO Y SELECCIÓN

Acondicionamiento de señales



DISEÑO Y SELECCIÓN

Programación IDE Arduino

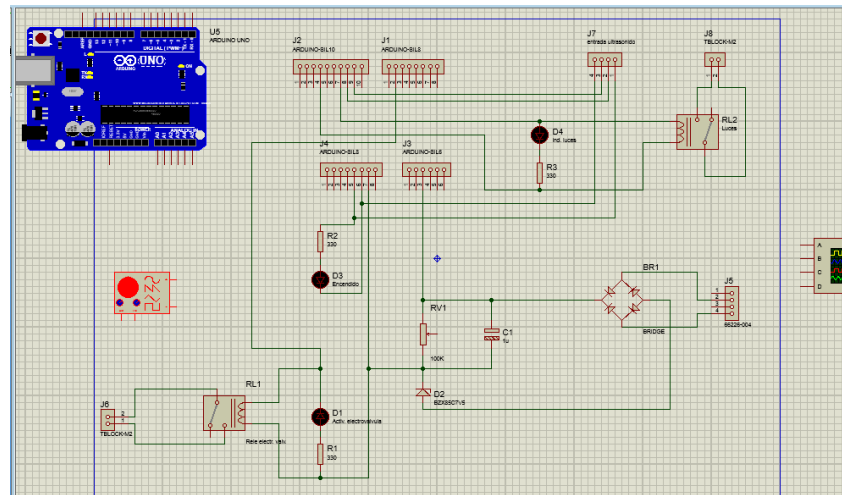
```
Control_Completo $
//Declaración de variables
const int Trigger = 10; //Pin digital 2 para el Trigger del sensor
const int Echo = 9; //Pin digital 3 para el Echo del sensor
int led = 11; //Salida digital para activación de iluminación
int Vextrusor = A2; //variable para lectura de entrada analoga
int Evalv = 0; //Niveles digitales
int control = 6; // salida digital 6
float escala = 100; //100 para voltios, 0.1 para milivoltios
long tiempo; //Variables para calculo de distancia

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(Vextrusor, INPUT);
  pinMode(control, OUTPUT); //definir pin como salida
  pinMode(Trigger, OUTPUT); //salida del pulso generado por el sensor ultrasónico
  pinMode(Echo, INPUT); //entrada del pulso generado por el sensor ultrasónico
  pinMode(led, OUTPUT); //alarma de la distancia(encenderá el led)
}

void loop() {
  Evalv = analogRead(Vextrusor); //Lectura en entrada analoga
  Serial.println("Eltts: "); //Muestra el nivel digital de la entrada
  Serial.println(Evalv);
  int lectura = map(Evalv, 0, 1023, 0, 500); //revaloriza cantidades
  float voltaje = lectura/escala; //Conversion a V
  Serial.println("Voltios: ");
  Serial.println(voltaje);
  Serial.println("\n");
  if (Evalv>300) {
    Serial.println("\n");
    if (Evalv>300) {
      digitalWrite(control, HIGH);
      Serial.println("Encendido");
    }
    if (Evalv<300) {
      digitalWrite(control, LOW);
      Serial.println("Apagado");
    }
    //Llamado a función para sensor ultrasónico
    int cm = ping(Trigger, Echo);
    Serial.print("Distancia: ");
    Serial.println(cm);
    if (dist<50) { //Condición de encendido para iluminación
      digitalWrite(led, HIGH);
    }
    else {
      digitalWrite(led, LOW);
    }
    //Tiempo de espera
    delay(300);
  }
  //Funcion para sensor ultrasónico
  int ping(int Trigger, int Echo) {
    digitalWrite(Trigger, LOW); //LOW 4us para generar un pulso limpio
    delayMicroseconds(4);
    digitalWrite(Trigger, HIGH); //Disparo del Trigger 10us
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(Trigger, LOW);
    tiempo = pulseIn(Echo, HIGH); //Medición tiempo entre pulsos, en microsegundos
    dist = tiempo * 0.017; //Distancia a cm
    return dist;
  }
}
```

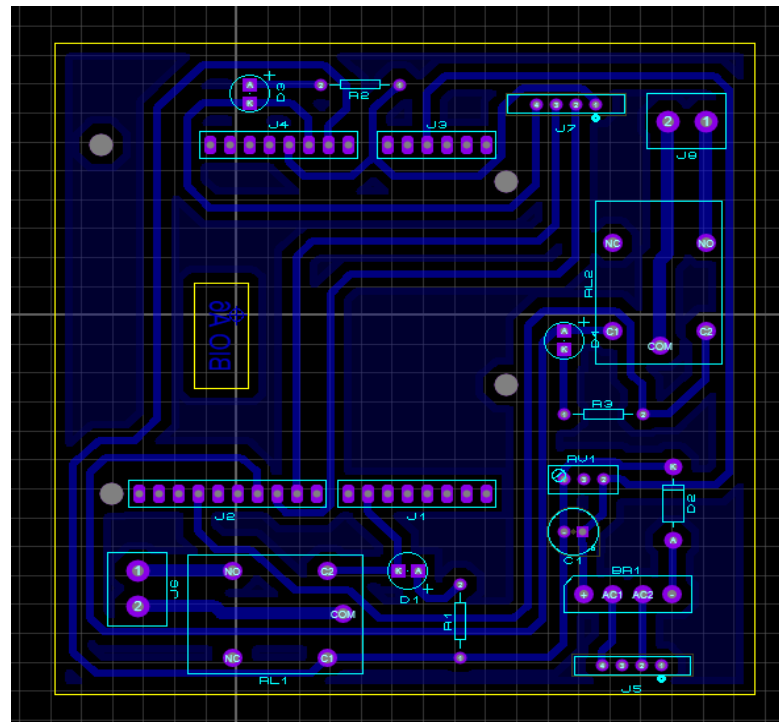
DISEÑO Y SELECCIÓN

Circuito de tarjeta de control



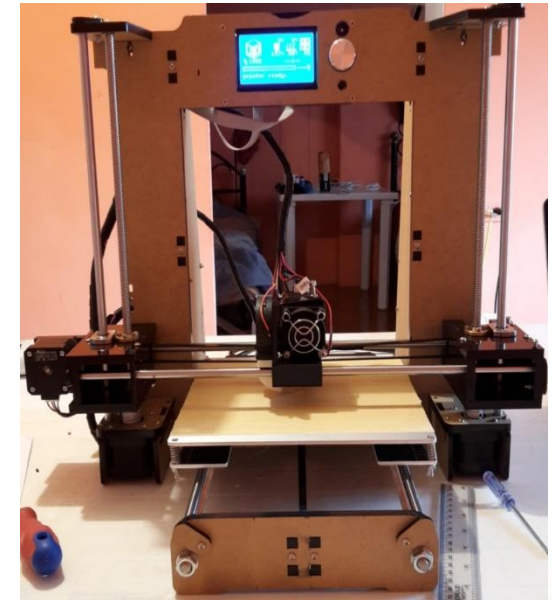
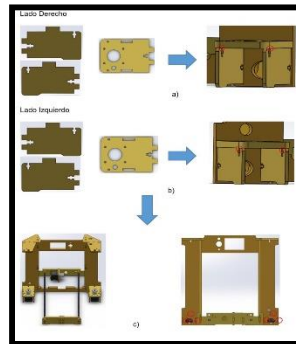
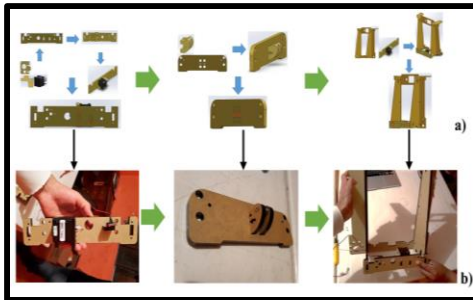
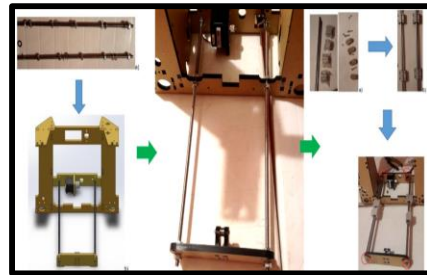
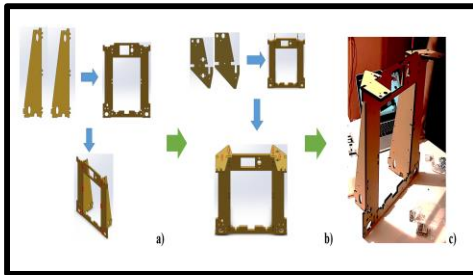
DISEÑO Y SELECCIÓN

PCB del circuito



IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICO Y MECÁNICO

1. Ensamble de impresora 3D base

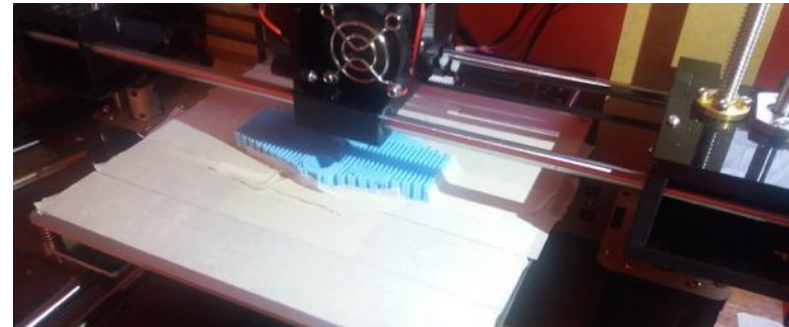


IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICO Y MECÁNICO

2. Conformación del sistema mecánico y partes estructurales

2.1 Impresión de componentes

- Base
- Cabezal
- Soporte de interfaz



IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICO Y MECÁNICO

2.2 Ensamble del nuevo extrusor



IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICO Y MECÁNICO

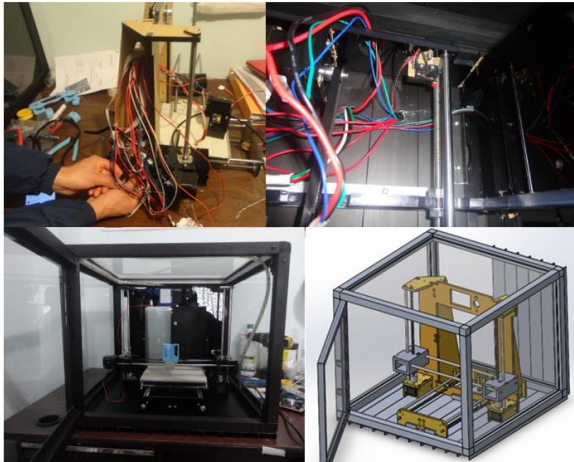
2.3. Modulo Contenedor



NOMBRE	REFERENCIA	DETALLE
Tubo cuadrado	1286	1plg
Perfil "U"	1837	47 x 12,5 mm
Nodos	-	1plg
Vidrio templado	-	4 líneas
Perfil "F"	1582	Para vidrio templado
Vinilos	-	a 4 líneas
Remaches aluminio	6300030	D1: 2,4 mm

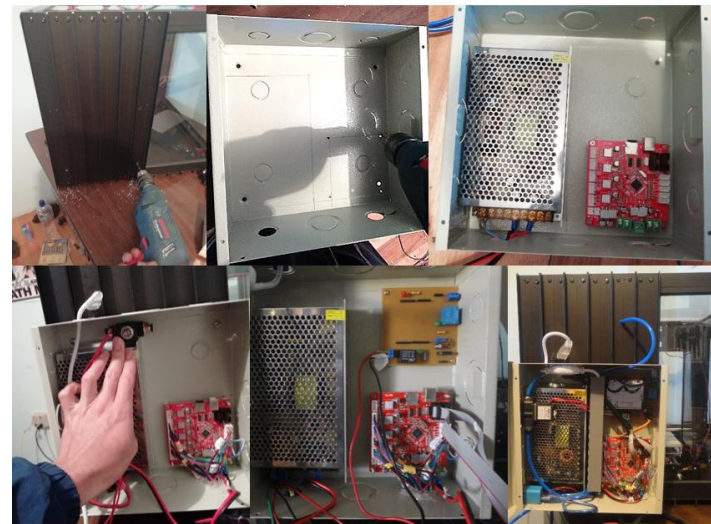
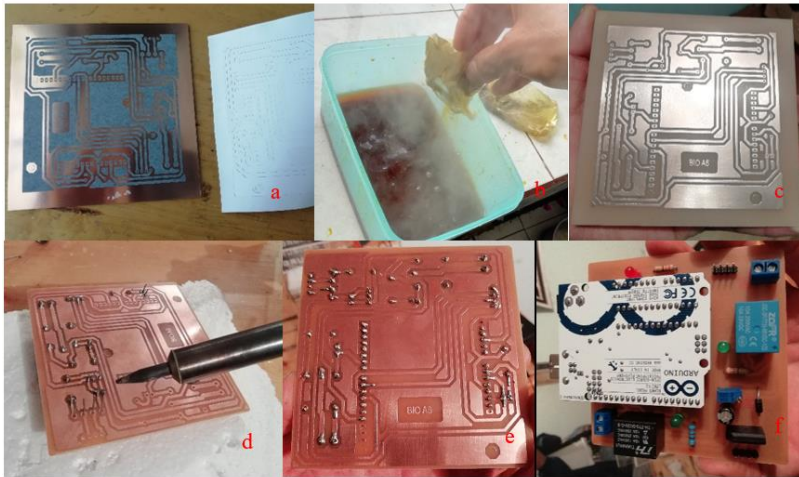
IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICO Y MECÁNICO

2.4. Fijación de la impresora dentro del módulo y de la interfaz del HMI

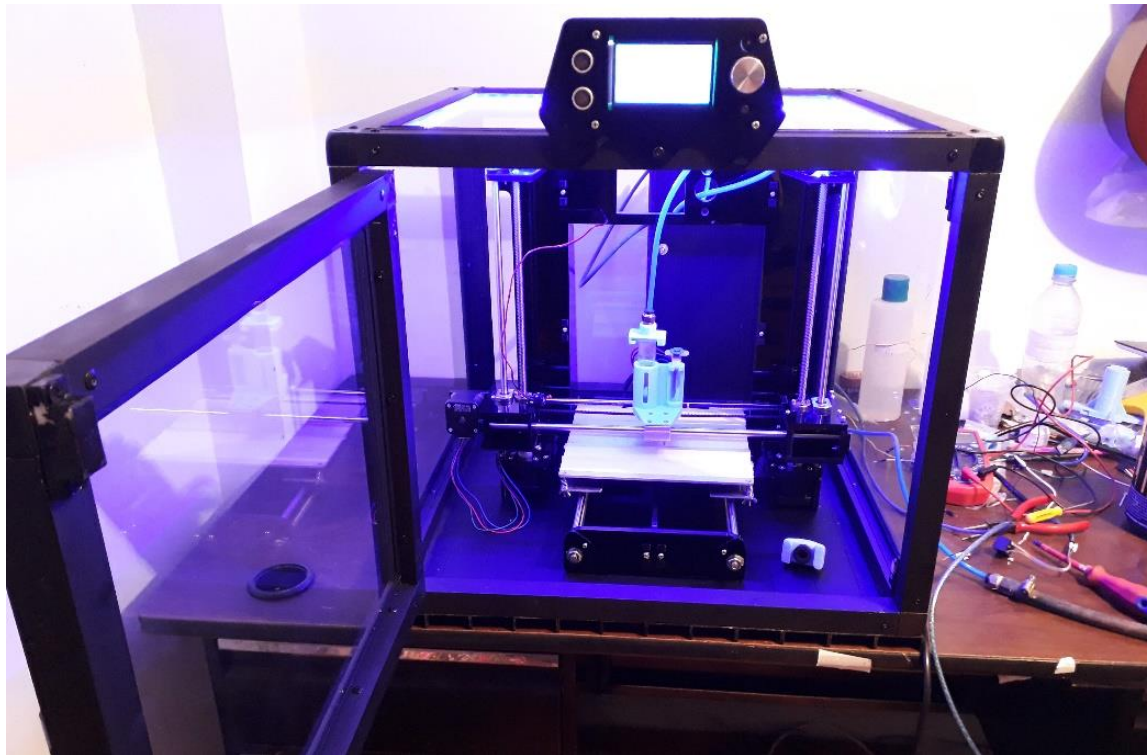


IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICO Y MECÁNICO

3. Implementación del sistema de control y caja de control



RESULTADO FINAL



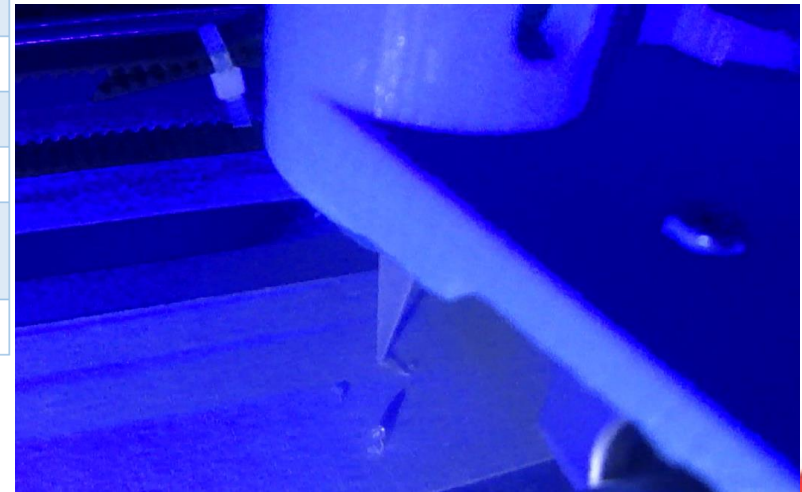
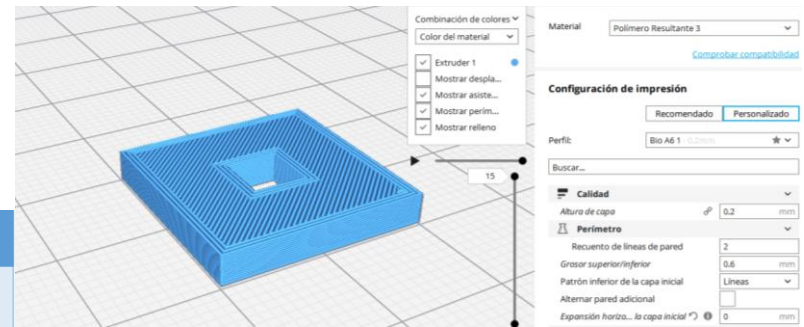
PRUEBAS Y RESULTADOS

ENSAYO 1.1

ENSAYO 1.1	PROPORCIONES		CONDICIONES	
POLÍMERO RESULTANTE 3	Carbopol	Cloruro de Calcio	Tiempo de mezclado	Tiempo de reposo
	1 gr	5 ml	50 seg	1 min

PARÁMETROS DE IMPRESIÓN

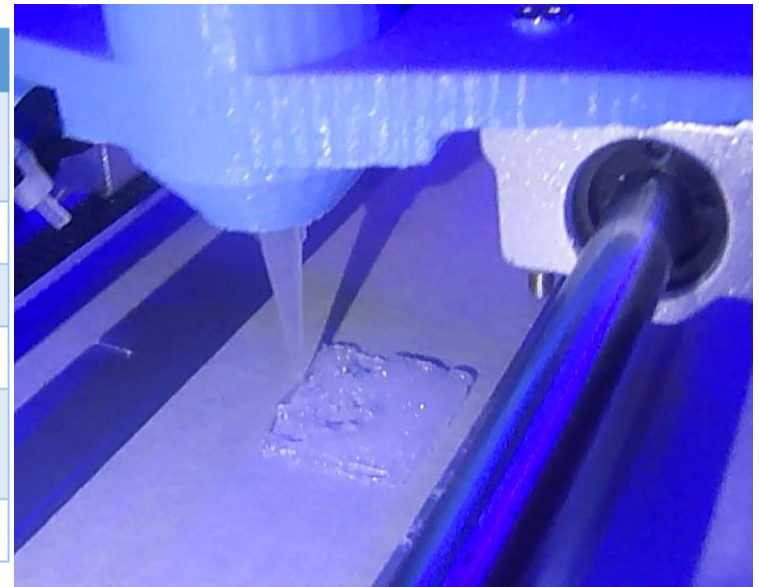
Velocidad de impresión	Distancia base-boquilla	Altura de capa	Distancia entre líneas	Presión aire	Diámetro boquilla
60-60-60 mm/s	1,2 mm	0,2 mm	0,8 mm	75 psi	200µm



PRUEBAS Y RESULTADOS

ENSAYO 1.2

ENSAYO 1.2		PROPORCIONES		CONDICIONES	
POLÍMERO RESULTANTE 3		Carbopol	Cloruro de Calcio	Tiempo de mezclado	Tiempo de reposo
		1 gr	5 ml	2 min	5 min
PARÁMETROS DE IMPRESIÓN					
Velocidad de impresión	Distancia base-boquilla	Altura de capa	Distancia entre líneas	Presión aire	Diámetro boquilla
60-60-60 mm/s	0,8 mm	0,3 mm	0,4 mm	75 psi	200µm



PRUEBAS Y RESULTADOS

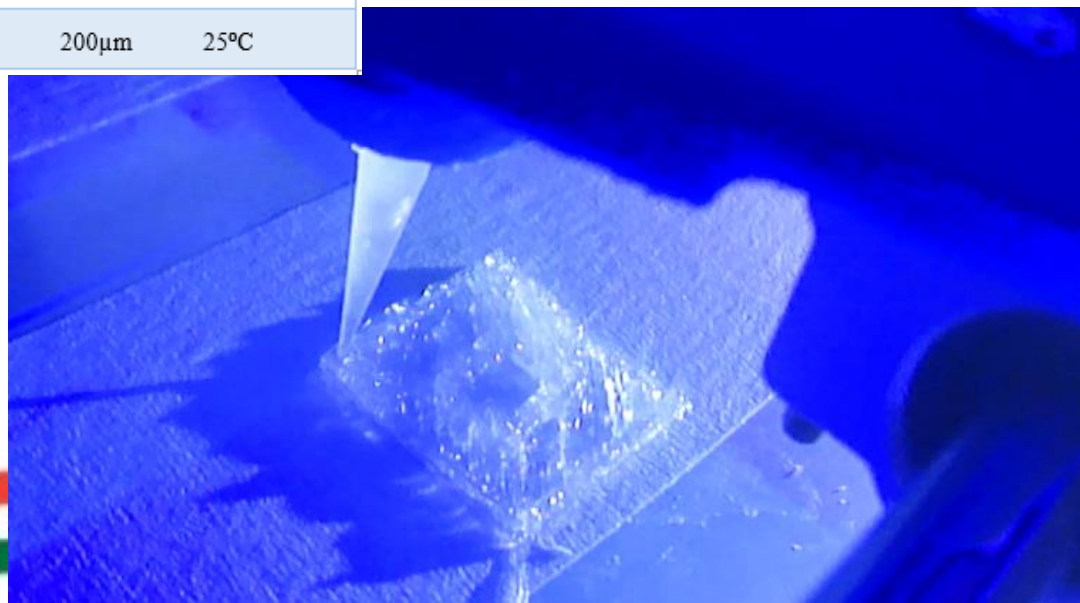
Eliminación de glóbulos de aire



PRUEBAS Y RESULTADOS

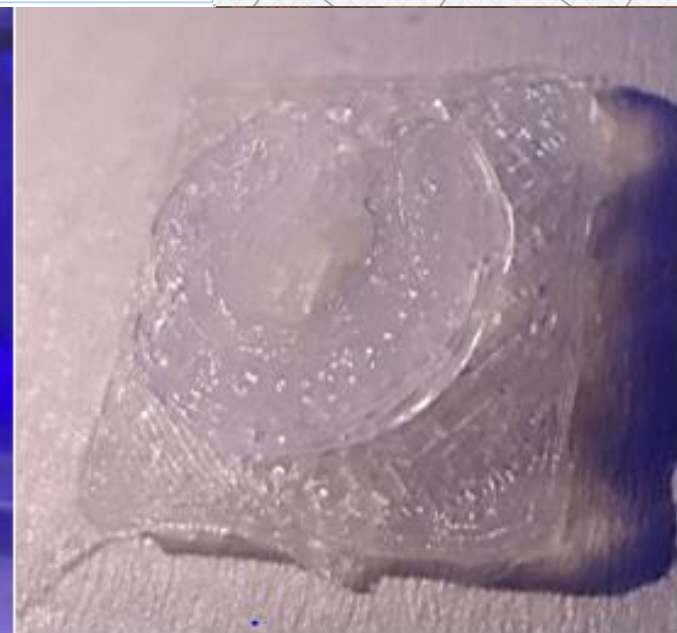
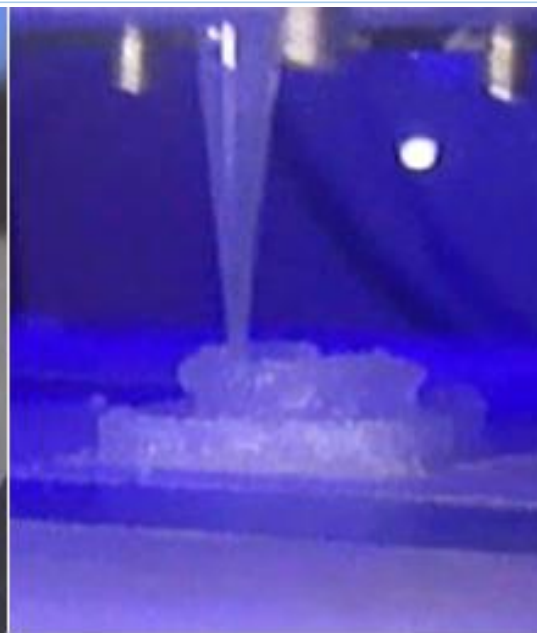
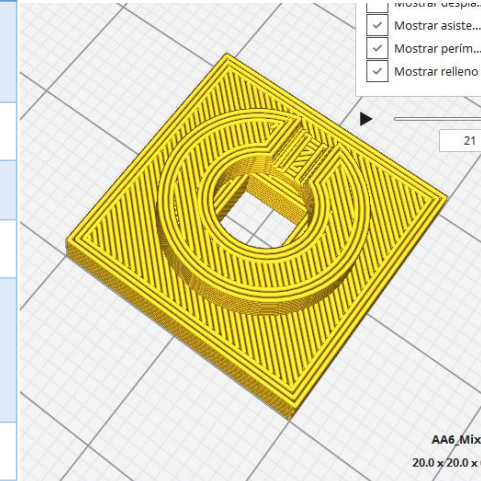
ENSAYO 1.3

ENSAYO 1.3		Proporciones		Condiciones		
POLÍMERO RESULTANTE 3		Carbopol	Cloruro de Calcio	Tiempo de mezclado	Tiempo de reposo	Tiempo de compresión
		1 gr	5 ml	2 min	10 min	10 seg
PARÁMETROS DE IMPRESIÓN						
Velocidad de impresión	Distancia base-boquilla	Altura de capa	Distancia entre líneas	Presión aire	Diámetro boquilla	Temperatura
60-30-60 mm/s	0,8 mm	0,2 mm	0,8 mm	75 psi	200µm	25°C



ENSAYO 2

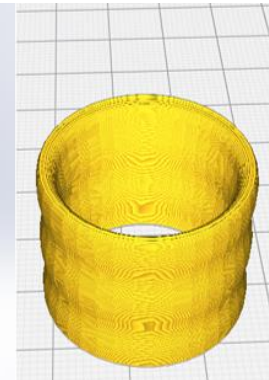
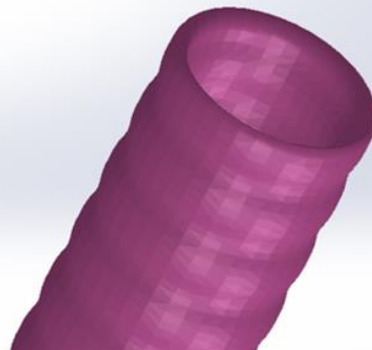
ENSAYO 2.1		PROPORCIONES		CONDICIONES		
POLÍMERO RESULTANTE 3		Carbopol	Cloruro de Calcio	Tiempo de mesclado	Tiempo de reposo	Tiempo de compresión
		1 gr	5 ml	1 min	15 min	10 seg
PARÁMETROS DE IMPRESIÓN						
Velocidad de impresión	Distancia base-boquilla	Altura de capa	Distancia entre líneas	Presión aire	Diámetro boquilla	Temperatura
60-30-60 mm/s	0,8 mm	0,3 mm	0,5 mm	65 psi	200µm	25°C



PRUEBAS Y RESULTADOS

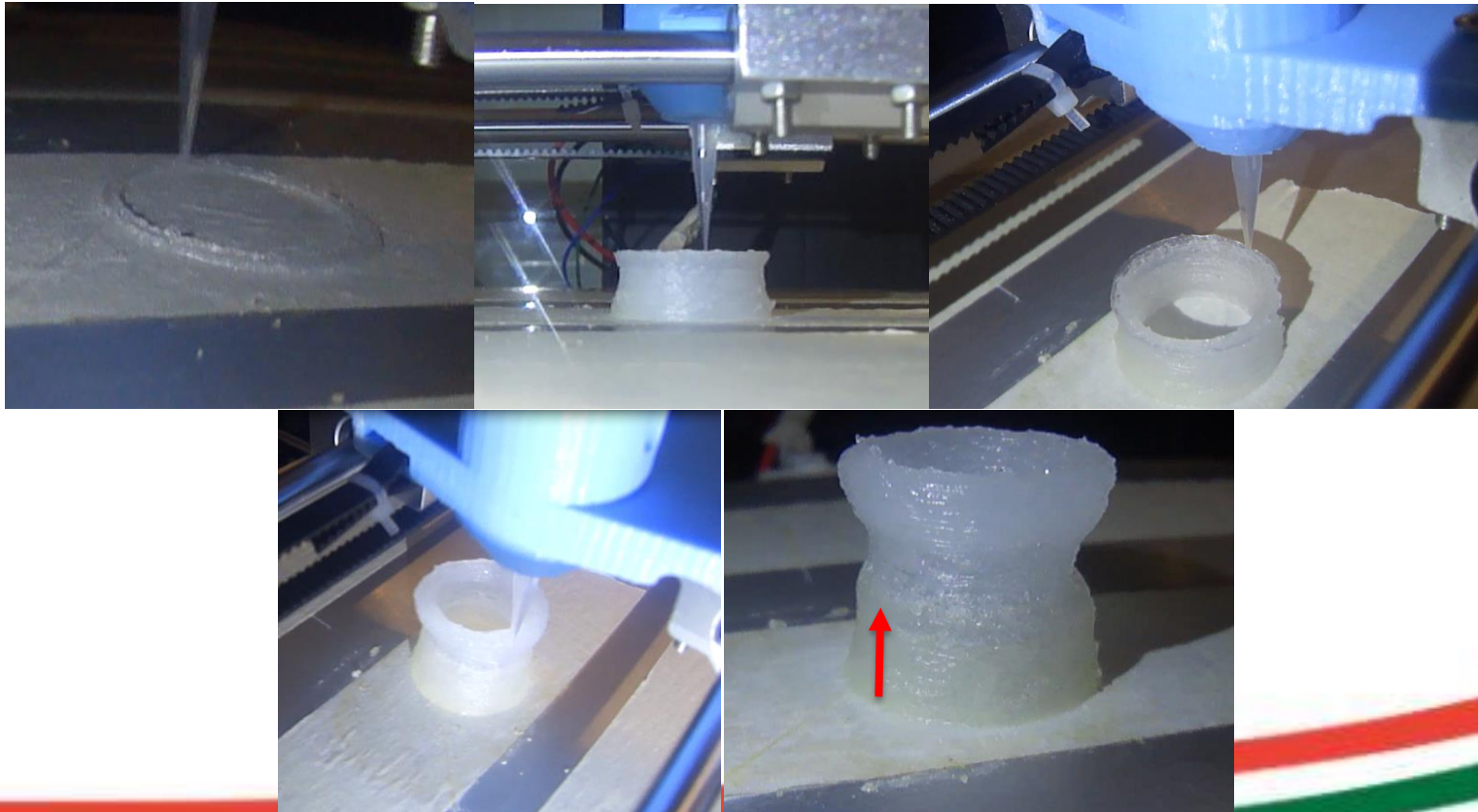
ENSAYO 3

ENSAYO 3		Proporciones			Condiciones	
POLÍMERO RESULTANTE 3		Carbopol	Cloruro de Calcio	Tiempo de mezclado	Tiempo de reposo	Tiempo de compresión
		5 gr	15 ml	2 min	1 hora	10 seg
PARÁMETROS DE IMPRESIÓN						
Velocidad de impresión	Distancia base-boquilla	Altura de capa	Distancia entre líneas	Presión aire	Diámetro boquilla	Temperatura
60-30-60 mm/s	0,2 mm	0,2 mm	0,4 mm	55 psi	200µm	25°C



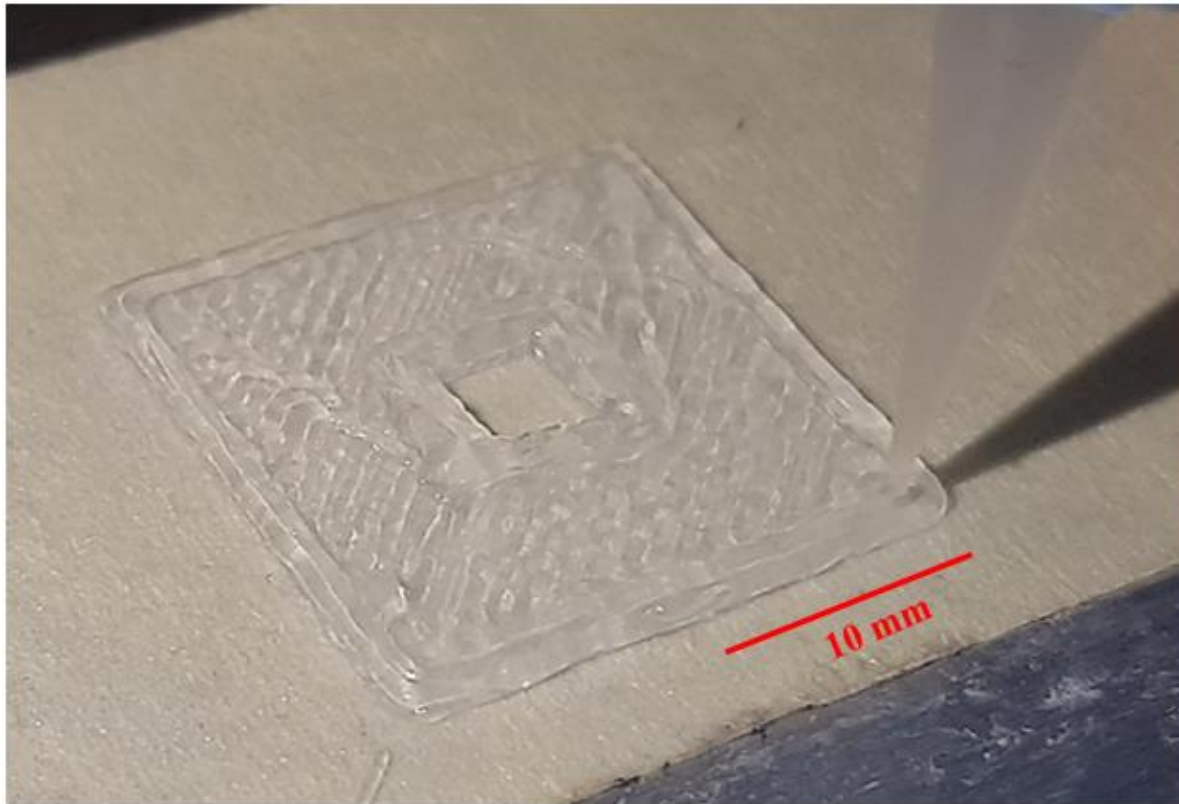
PRUEBAS Y RESULTADOS

ENSAYO 3



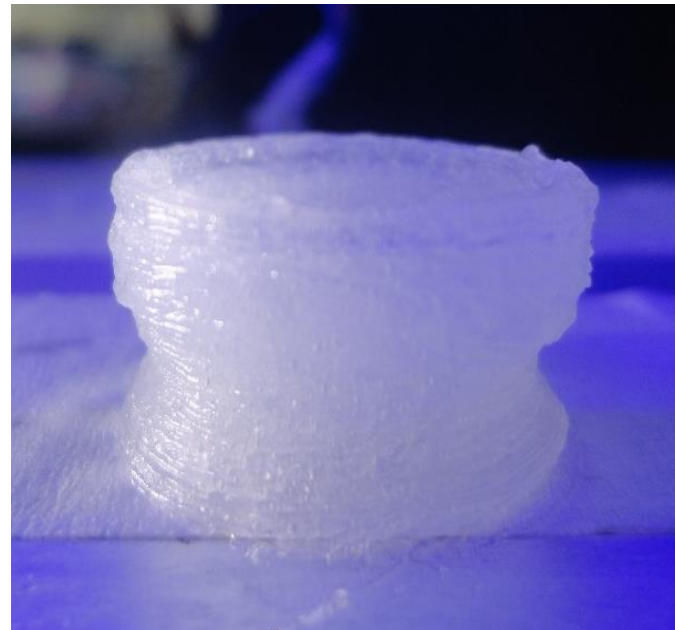
PRUEBAS Y RESULTADOS

ENSAYO 4



PRUEBAS Y RESULTADOS

ENSAYO 4



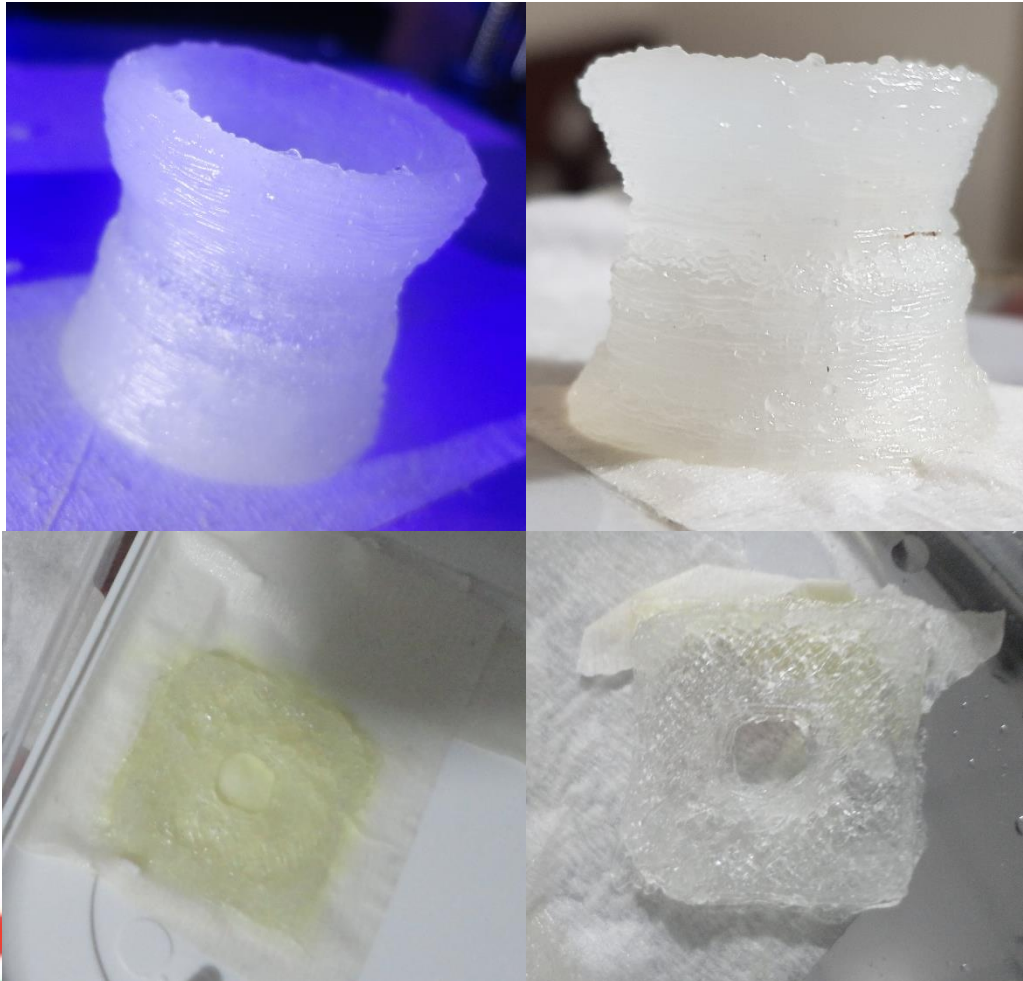
PRUEBAS Y RESULTADOS

ENSAYO 4



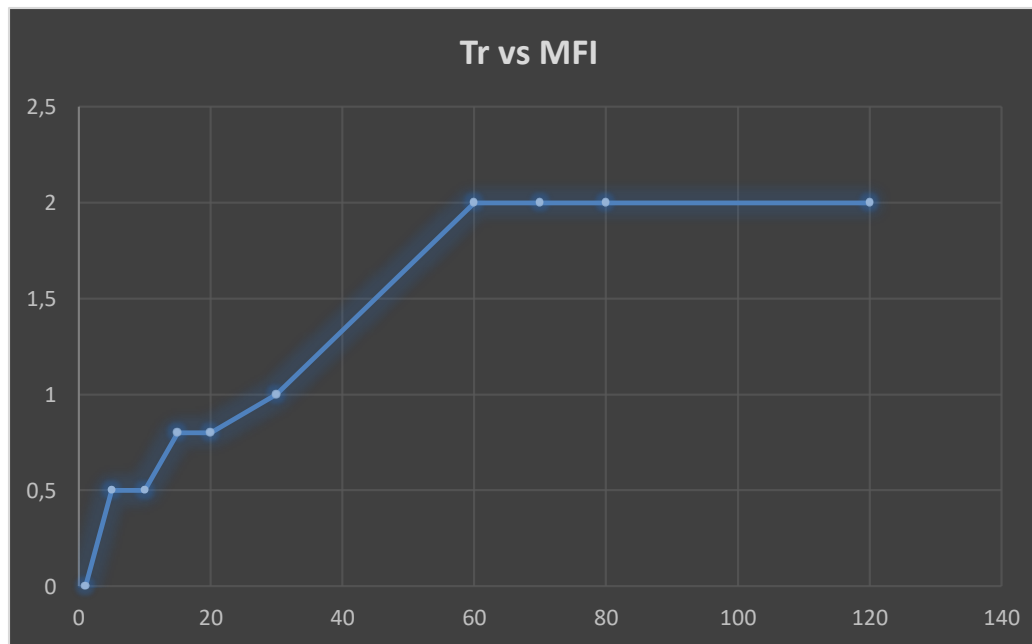
PRUEBAS Y RESULTADOS

Alteraciones del medio de conservación



PRUEBAS Y RESULTADOS

Relación Tiempo de reposo vs MFI



PRUEBAS Y RESULTADOS

Validación de la hipótesis

Hipótesis planteada:

¿La investigación, diseño y la implementación de un prototipo de impresora 3D permitirá la fabricación de formas tridimensionales a base de polímeros hidrofílicos?

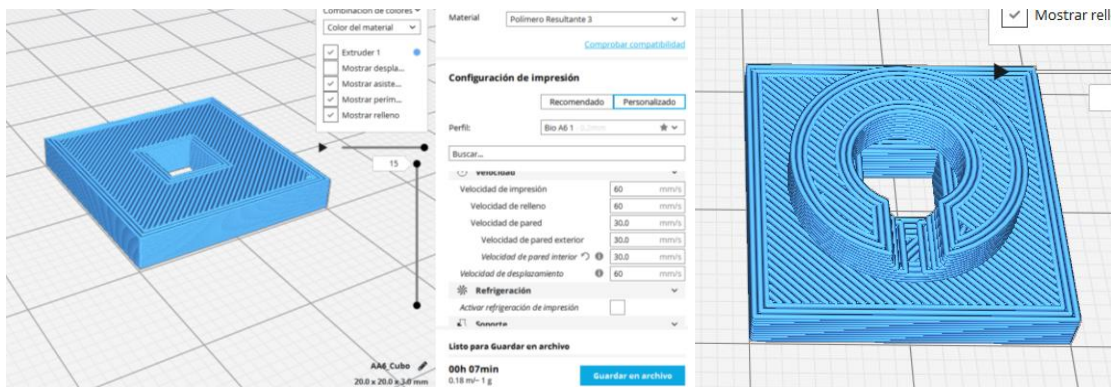
- Variables Dependientes: Formas tridimensionales, Polímeros hidrofílicos
- Variables Independientes: Prototipo de impresora 3D

PRUEBAS Y RESULTADOS

Validación de la hipótesis

Método a utilizar es el de Chi Cuadrado

Frecuencia observada



Impresión	Figura básica	Figura compleja	Total
Si	9	6	15
No	1	4	5
Total	10	10	20

PRUEBAS Y RESULTADOS

Validación de la hipótesis

Frecuencia esperada

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

Impresión	Figura básica	Figura compleja	Total
Si	7,5	7,5	15
No	2,5	2,5	5
Total	10	10	20

Grados de libertad

$$v = (i - 1) * (j - 1)$$

$$v = 1$$

PRUEBAS Y RESULTADOS

Validación de la hipótesis

Calculo de Chi Cuadrado

$$X_{cal^2} = \sum \frac{(o_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad X_{cal^2} = 2,4$$

Comparación de los valores obtenidos

Grados de libertad	Probabilidad											
	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,01	0,001	
1	3,004	0,02	0,06	0,15	0,46	1,07	1,64	2,71	3,34	6,54	10,83	
2	0,10	0,21	0,45	0,71	1,39	2,41	3,22	4,60	5,99	9,21	13,82	
3	0,35	0,58	1,01	1,42	2,37	3,66	4,64	6,25	7,82	11,34	16,27	
4	0,71	1,06	1,65	2,20	2,36	4,88	5,99	7,78	9,49	13,28	18,47	
5	1,14	1,61	2,34	3,00	4,35	6,06	7,29	9,24	11,07	15,09	20,52	
6	1,63	2,20	3,07	3,83	5,35	7,23	8,56	10,64	12,59	16,81	22,46	
7	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	8,38	9,80	12,02	14,07	18,48	24,32	
8	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,52	11,03	13,36	15,51	20,09	26,12	
9	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,66	12,24	14,68	16,92	21,67	27,88	
10	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,78	13,44	15,99	18,31	23,21	29,52	
	No significativo								Significativo			

PRUEBAS Y RESULTADOS

Validación de la hipótesis

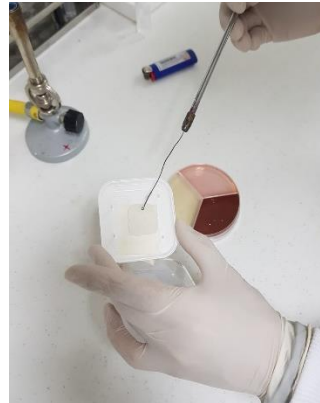
Aceptación o negación de la hipótesis nula

2,4 > 1,64 por lo que se acepta como válida la hipótesis de trabajo, es decir: La investigación, diseño y la implementación de un prototipo de impresora 3D permitirá la fabricación de formas tridimensionales a base de polímeros hidrofílicos.

PRUEBAS Y RESULTADOS

Validación de la biocompatibilidad del polímero hidrofílico

Análisis bacteriológico



Pruebas adicionales

Con fines investigativos se realizó una prueba bacteriológica adicional en la que se exponía al polímero a la intemperie por 48 horas para su posterior análisis. Dando como resultado una coloración Gram positiva para bacilos (violeta).

PRUEBAS Y RESULTADOS

Validación de la biocompatibilidad del polímero hidrofílico

Encuesta

Resultados

Pregunta 1:

¿Cree usted que el polímero hidrofílico analizado es un material biocompatible?

Pregunta	Num. Encuestados	SI	NO
1	3	3	0
2	3	3	0
3	3	3	0

Pregunta 2

¿Podría este polímero ser utilizado como material en bioimpresión 3D?

Pregunta 3

¿El polímero puede ser utilizado como sustrato para el desarrollo de diferentes células?

PRUEBAS Y RESULTADOS

Validación de la biocompatibilidad del polímero hidrofílico

El polímero hidrofílico impreso es biocompatible. Adicionalmente se toman las recomendaciones de los encuestados; como tomar siempre las medidas de esterilización adecuadas (como las que se aplicó para la impresión de las muestras). El polímero como todo material al dejarlo a la intemperie puede sufrir contaminación bacteriana, por lo que recomiendan el uso de un medio de impresión cerrado y estéril.

ANÁLISIS FINANCIERO

Componentes	Cantidad	Valor Unitario	Total
Estructura de impresora 3D	1	400	400
Hidrogel <u>Cellink</u>	12	10	120
Boquillas <u>Cellink</u>	100	1	10
<u>Carbopol</u>	2 kg	2	4
Cloruro de calcio	0,5 lt	15	7,5
Arduino UNO	1	15	15
Estructura de Aluminio	1	150	150
Sensor ultrasónico	1	5	5
Impresiones 3D	1	26	26
Exámenes de laboratorio	3	15	45
Tarjeta de control	1	20	20
Mangueras Neumáticas	3 metros	3	9
Electroválvula	1	20	20
Luces LED	2 metros	5	10
Gastos Varios	1	500	500
TOTAL			1341,5

Nombre	Descripción	Precio
Bio A6 (presente prototipo)	Bioimpresora creada a partir de <u>Anet A6</u> y basada en extrusión neumática de polímeros hidrofílicos	\$ 1.341,5
<u>Inkredible</u> (<u>Cellink</u>)	Extrusión neumática por jeringa. Materiales: <u>Cellink+</u> y <u>Cellink A</u>	\$ 5.000 – \$ 9.000
Bio X (<u>Cellink</u>)	Basada en extrusión por jeringa, alta flexibilidad con cabezales de impresión intercambiables	\$ 39.000 – \$ 40.000
<u>BioAssemblyBot</u> (<u>Advanced Solutions</u>)	Extrusión por jeringa, basada en un brazo robótico de 6 ejes y 8 cartuchos independientes con cambio automático	\$ 159.999

CONCLUSIONES

Existen investigaciones donde usan polímeros hidrofílicos e hidrogeles para bioimpresión 3D, como el carbopol EDT2020 y el hidrogel compuesto por gelatina y Alginato de sodio. Sin embargo, no se usó ninguno de estos debido a la tecnología de implementación y su baja o nula disponibilidad en el mercado, respectivamente. A cambio se desarrolló un nuevo polímero hidrofílico compuesto por Carbopol 940 y cloruro de calcio (ambos con biocompatibilidad comprobada), material que con las proporciones (de elementos conformantes) y procesos de preparación adecuados, posee características de fluidez-viscosidad, densidad y solidez interesantes para la bioimpresión 3D.

Dentro del amplio campo de mecanismos de impresión 3D se encuentra la extrusión por FDM que, con importantes modificaciones de su sistema, se puede utilizar en la impresión de materiales como los polímeros hidrofílicos. Si bien existe otro método para impresión de biomaterial (inkjet), la extrusión, y más precisamente la microextrusión con sistema neumático, ha comprobado ser el menos dañino para la viabilidad celular al no presentar estrés térmico ni mecánico durante el proceso de impresión.

CONCLUSIONES

El sistema mecánico encargado de la extrusión y contención del polímero hidrofílico se ha diseñado considerando la morfología de la impresora 3D base (medio de impresión), las cargas y movimientos a los que puede estar sometido, la disponibilidad de materiales en el mercado y su funcionalidad dentro del campo de la bioimpresión 3D.

El sistema electrónico diseñado para el proyecto se encarga del accionamiento del nuevo sistema de extrusión neumático y si bien el control de trayectorias, temperatura y demás están solventadas por la Mainboard propia de la impresora Anet A6, esta no contempla o abarca el uso de un sistema de extrusión que no sea el FDM, razón por la cual el diseño de este sistema de control adicional, es cuanto menos imprescindible, ya que cumple su objetivo a cabalidad.

RECOMENDACIONES

Para la protección individual y el correcto manejo del carbopol 940 se debe usar la indumentaria adecuada, como mascarilla, guantes y gafas. Todo esto a razón de que la partícula de carbopol 940 está en el rango de 3 a 7 micrones haciendo que sea “volátil” (en una medida análoga al polvo), fácil de aspirar o de que ingrese al cristalino de los ojos. El polímero no es tóxico, pero al ser altamente hidrofílico (a razón de absorber hasta 100 veces su peso en agua) podría ocasionar obstrucciones orales y oculares.

Usar elementos de medición precisos y calibrados en sus unidades de medida correspondiente para la preparación del polímero resultante, ya que las proporciones de compuestos debe ser exacta para obtener los mejores resultados.

Emplear teflón (cinta adhesiva) en todas las roscas de los racores para evitar fugas de aire en las juntas.

RECOMENDACIONES

Usar una jeringa o cartucho nuevo para cada impresión o como máximo intercambiarla cada 2 impresiones, ya que las aletas se desgastan y terminan cediendo a la presión del fluido.

Usar por parámetros de impresión del ensayo de impresión 3 para garantizar una correcta impresión del polímero.

Limpiar exhaustivamente todos los materiales usados para la preparación e impresión del biomaterial, para garantizar que no existirá presencia de bacterias ni agentes que puedan dificultar la impresión, como basuras que obstruyan la boquilla, etc.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

GRACIAS

