

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE FLUIDOS A TRAVÉS DE ESTRUCTURAS POROSAS TRIDIMENSIONALES PARA EL ANÁLISIS DE FLUJO LAMINAR MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL”

AUTORES: LASCANO NUÑEZ JOSHUA VINICIO
NAVAS NAVAS, MIGUEL ESTEBAN

DIRECTOR: Ing. LARA PADILLA HERNÁN VINICIO Ph.D.

,



CONTENIDO

1. RESUMEN

2. INTRODUCCIÓN

3. OBJETIVOS

4. MARCO TEÓRICO

5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

6. PRUEBAS

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RESUMEN

El presente proyecto muestra el desarrollo de un prototipo de sistema de recirculación de fluidos enfocándose en el análisis por visión artificial de un flujo laminar que atraviese estructuras porosas tridimensionales similares a las del hueso humano. Este proyecto representa un avance importante en el desarrollo de este tipo de tecnología a nivel nacional dentro del área de la ingeniería tisular, además de que, al ser un prototipo de bajo costo abre las puertas para futuras mejoras e investigaciones.

CONTENIDO

1. RESUMEN

2. INTRODUCCIÓN

3. OBJETIVOS

4. MARCO TEÓRICO

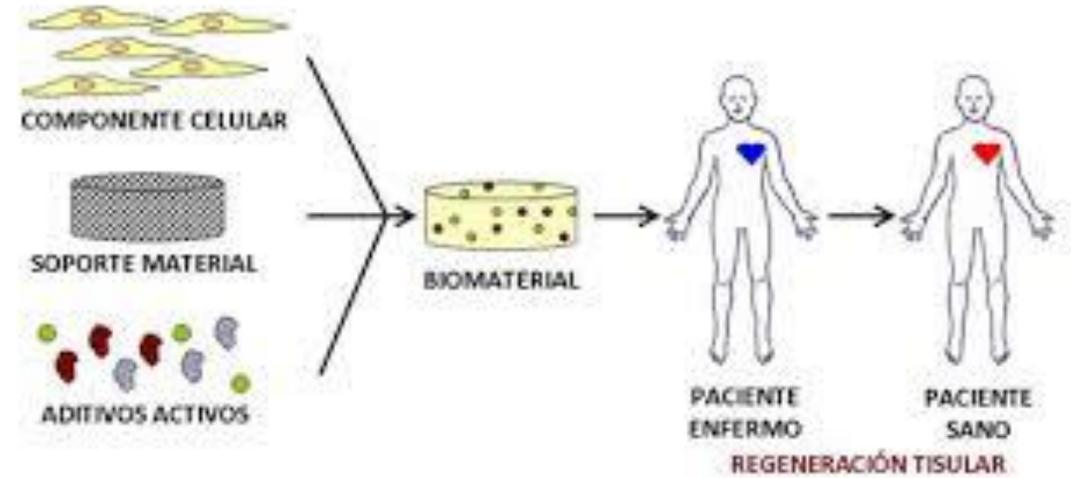
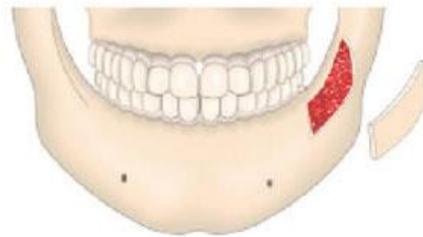
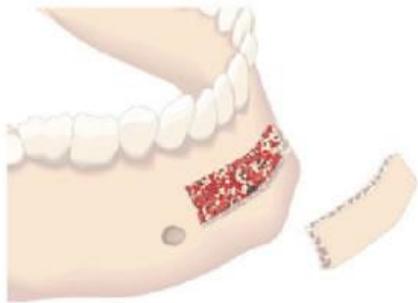
5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

6. PRUEBAS

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

INTRODUCCIÓN



CONTENIDO

1. RESUMEN

2. INTRODUCCIÓN

3. OBJETIVOS

4. MARCO TEÓRICO

5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

6. PRUEBAS

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema de recirculación de fluidos a través de estructuras porosas tridimensionales para el análisis de flujo laminar mediante visión artificial

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

INVESTIGAR

DISEÑAR

CONSTRUIR

IMPLEMENTAR

EJECUTAR

CONTENIDO

1. RESUMEN

2. INTRODUCCIÓN

3. OBJETIVOS

4. MARCO TEÓRICO

5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

6. PRUEBAS

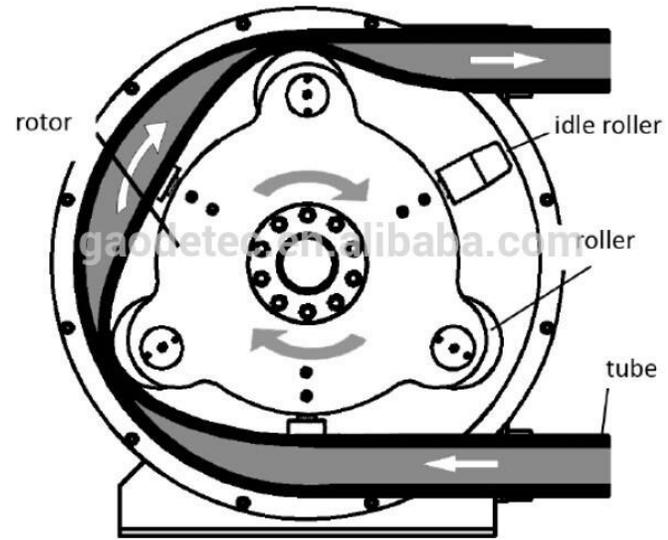
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

MARCO TEÓRICO



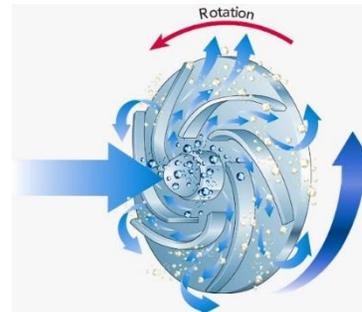
MARCO TEÓRICO



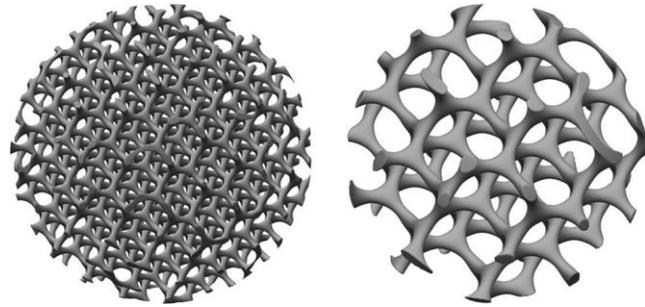
**BOMBA
PERISTÁLTICA**



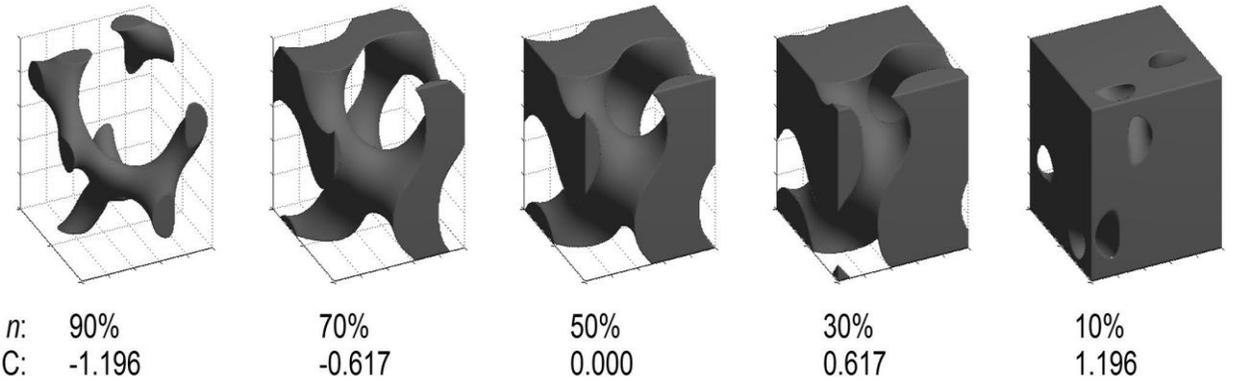
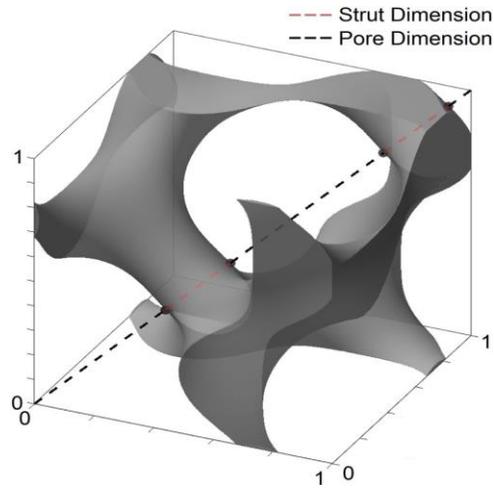
CAVITACIÓN



MARCO TEÓRICO

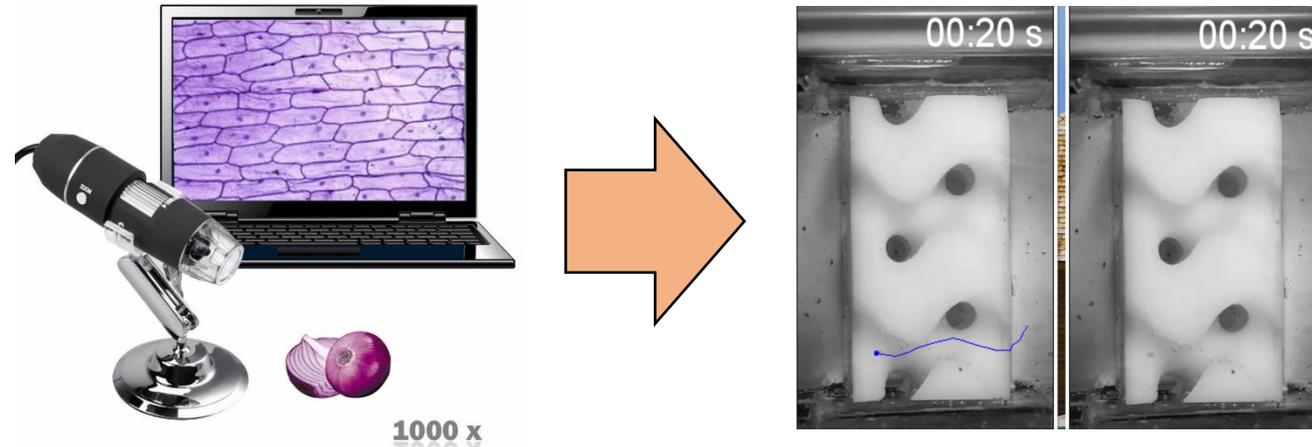


**Estructuras Mínimas
Triplemente Periódicas
(TPMS)**

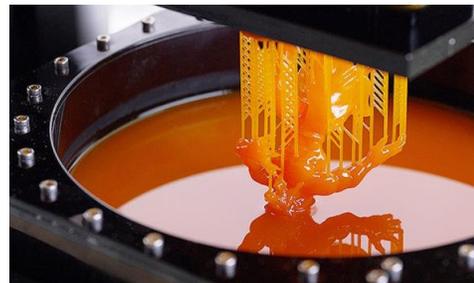


MARCO TEÓRICO

Visión Artificial



Impresión 3D



CONTENIDO

1. RESUMEN

2. INTRODUCCIÓN

3. OBJETIVOS

4. MARCO TEÓRICO

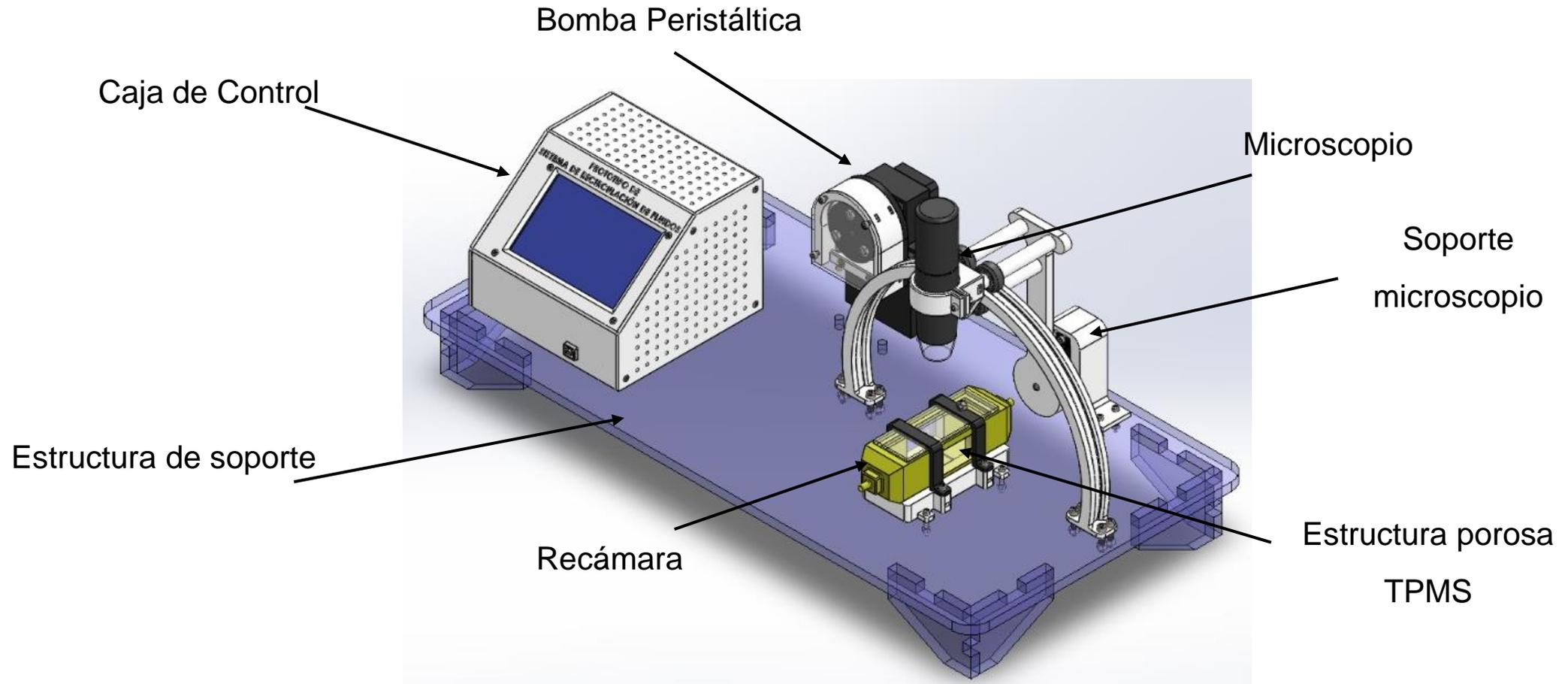
5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

6. PRUEBAS

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

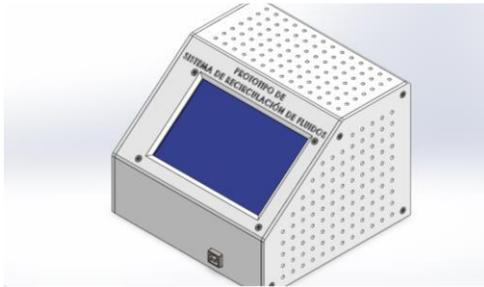
DISEÑO CAD DE LA ESTRUCTURA (VISTA GENERAL DEL PROTOTIPO)



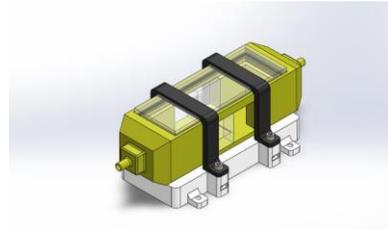
DISEÑO DEL PROTOTIPO

PARTES PRINCIPALES

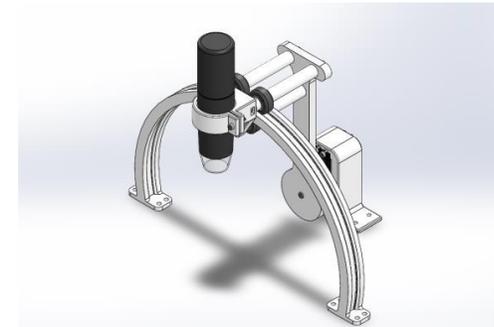
Caja de Control



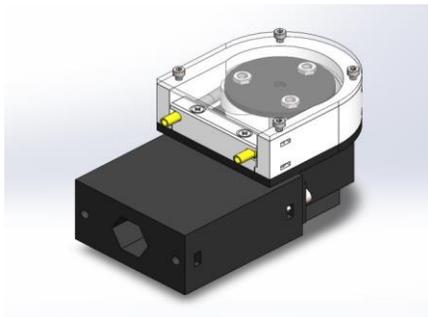
Recámara para las estructuras porosas



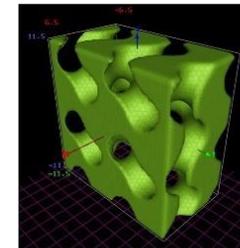
Soporte Microscopio



Bomba Peristáltica



Estructuras TPMS



DISEÑO DE LA BOMBA PERISTALTICA



Número de Reynolds

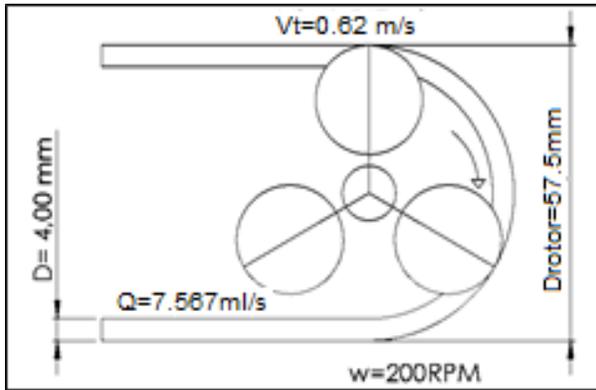
$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} * 0.628 \frac{m}{s} * 0.004 m}{1.102 \times 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2}}$$

$Re = 2279$ Flujo Laminar

DATOS INICIALES							
w(rpm)	w(rad/s)	Tm(N*cm)	Tm(N*m)	Perd_torq	Tdisp(Nm)	Pot(W)	Patm(bar)
200	20,94	3,6	0,036115	1,000	0,036115	0,756	1
h(m.c.a.)	Q(m3/s)	Q(ml/s)	Vtang(m/s)	A(m2)	r(m)	r(mm)	diam(mm)
10,2	7,57E-06	7,567	0,6283	1,204E-05	0,002	1,958	3,92
DATOS CON RADIO MANGUERA COMERCIAL							
Rad_of(mm)	Rad_of(m)	A(M2)	V_operac(m/s)	R_rot(m)	R_rot(mm)	Diam_rotor(mm)	
2	0,002	1,257E-05	0,602	0,0288	28,75	57,50	

DISEÑO DE LA BOMBA PERISTALTICA

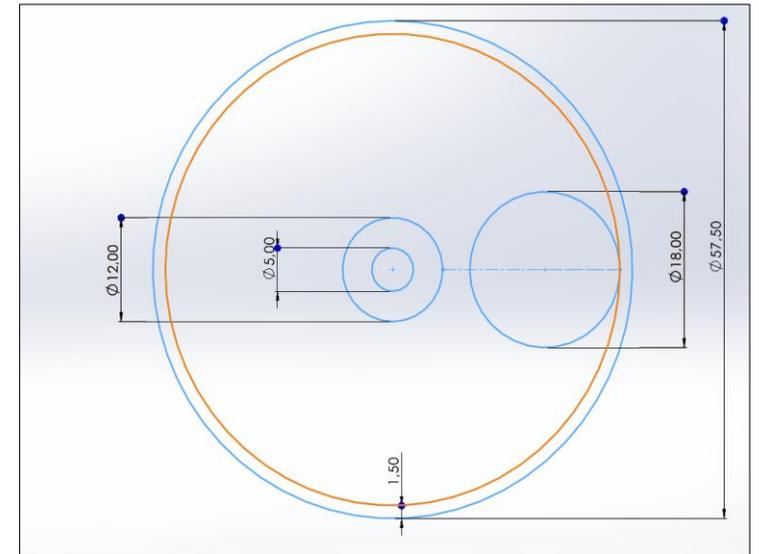


Re	f	L(m)	L(mm)	Hr	Per
2279	0,03	0,1	90,32	0,013	0

Condiciones de vacío	Condiciones de trabajo
$F_{Tv} = 1.19N * 0.47$	$F_{Tt} = 2.5N * 0.47$
$F_{Tv} = 0.56 N$	$F_{Tv} = 1.17 N$

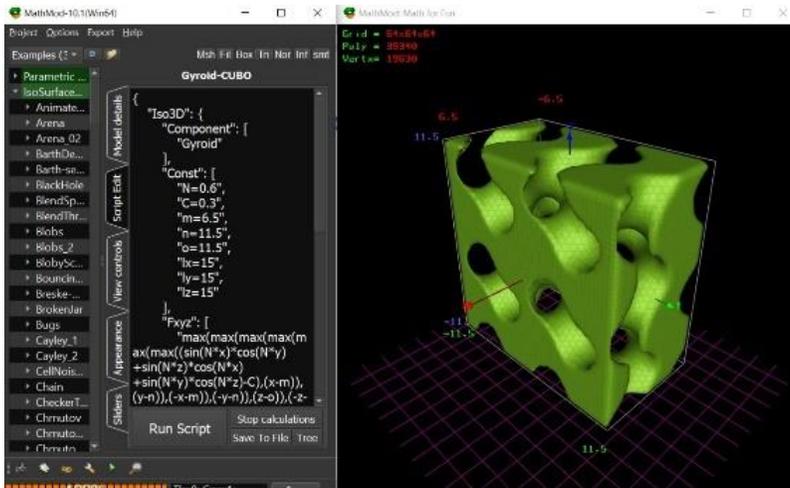


Fuerzas aplicadas al Rodillo



Se puede concluir que el caudal real que proporcionará la bomba peristáltica a una velocidad de 77 RPM será de $4.11 \frac{ml}{seg}$.

DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS TPMS



$$n = \left(1 - \frac{V_S}{V_T} \right)$$

Propiedades de masa de N04C-09
Configuración: Predeterminado
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico

Masa = 1.38 gramos

Volumen = 1381.68 milímetros cúbicos

Área de superficie = 1443.15 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)

X = 0.97

Y = -0.07

Z = 11.57

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetro
Medido desde el centro de masa.

lx = (0.01, -0.38, 0.92) Px = 77.68

ly = (0.04, -0.92, -0.38) Py = 78.36

lz = (1.00, 0.04, 0.00) Pz = 120.37

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de r

Lxx = 120.30 Lxy = -1.70 Lxz = -0.19

Lyx = -1.70 Lyy = 78.33 Lyz = -0.25

Lzx = -0.19 Lzy = -0.25 Lzz = 77.78

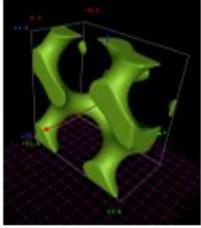
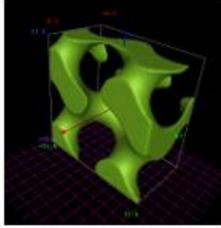
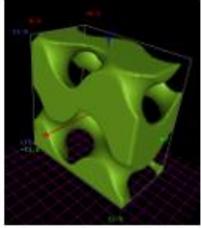
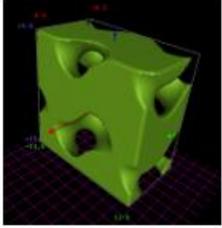
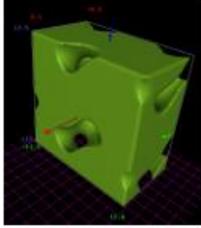
Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

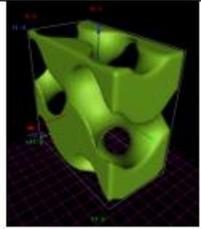
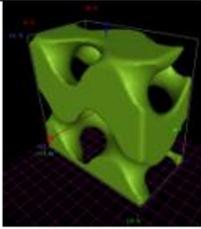
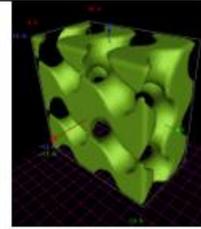
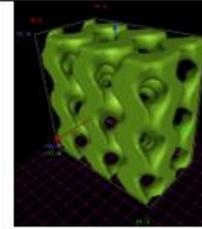
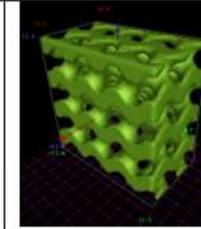
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

lxx = 305.17 lxy = -1.79 lxz = 15.32

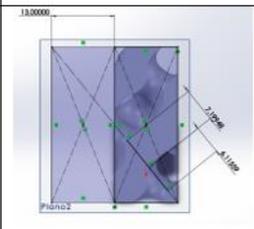
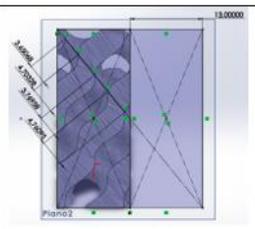
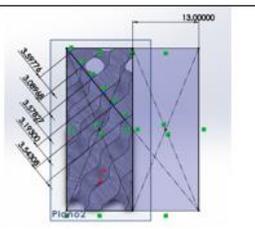
lyx = -1.79 lyy = 264.49 lyz = -1.38

lzx = 15.32 lzy = -1.38 lzz = 79.09

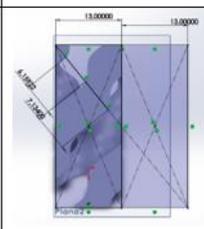
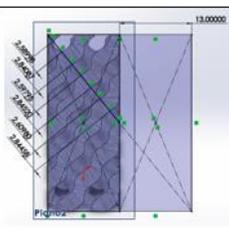
Giroide de 23x23x13mm El parámetro igual en estos casos es N=0.4					
					
N	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
C	-0.9	-0.5	0.1	0.5	0.9
n	79.9%	66.7%	46.8%	33.6%	20.4%

Giroide de 23x23x13mm El parámetro igual en estos casos es C=0.1					
					
N	-0.4	0.4	0.6	0.8	1
C	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
n	47.02%	47.02%	47.32%	47.23%	47.36%

Giroide de 23 x 23 x 13 mm OBTENCIÓN DE LA RELACION ENTRE DIMENSIONES DEL PORO Y SOPORTE para C=0.1

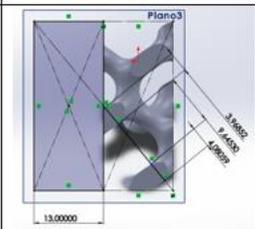
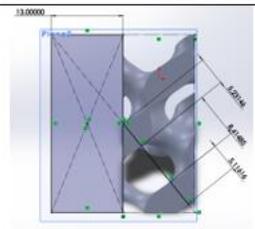
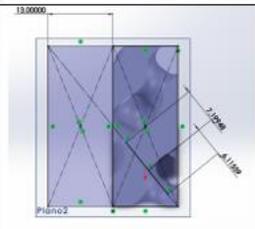
	N04 C01	N06 C01	N08 C01
			
d_p	6.11	3.70	3.13
d_s	7.19	4.73	3.57
ξ	0.849	0.782	0.876

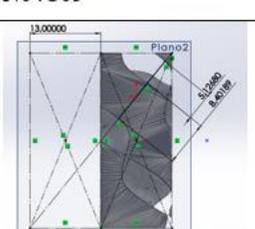
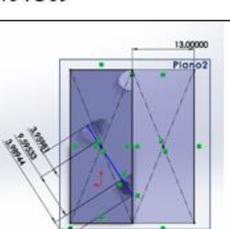
4.4.1

	N-04 C01	N1C01
		
d_p	6.15	2.60
d_s	7.13	2.84
ξ	0.86	0.9

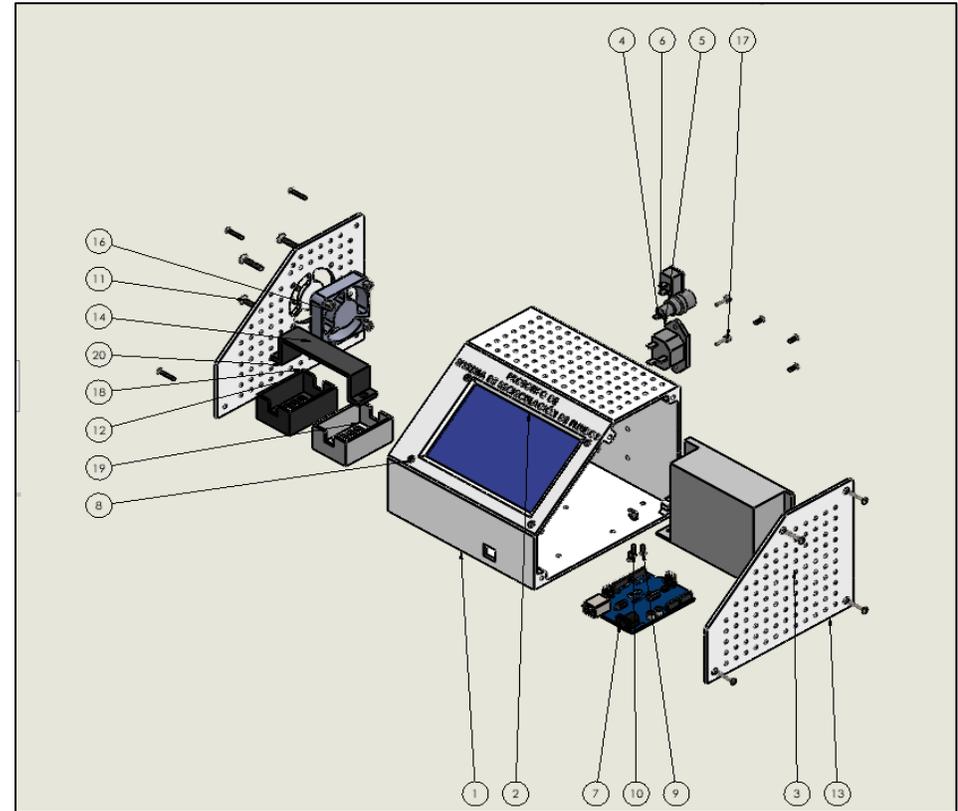
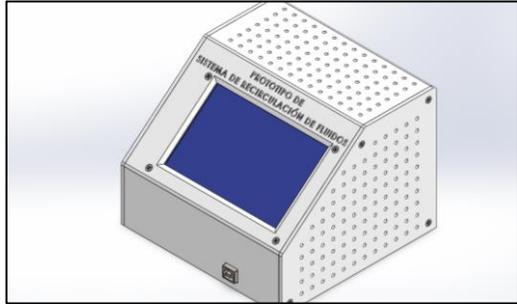
$$\xi = \frac{d_p}{d_s}$$

Giroide de 23 x 23 x 13 mm OBTENCIÓN DE LA RELACION ENTRE DIMENSIONES DEL PORO Y SOPORTE para N=0.4

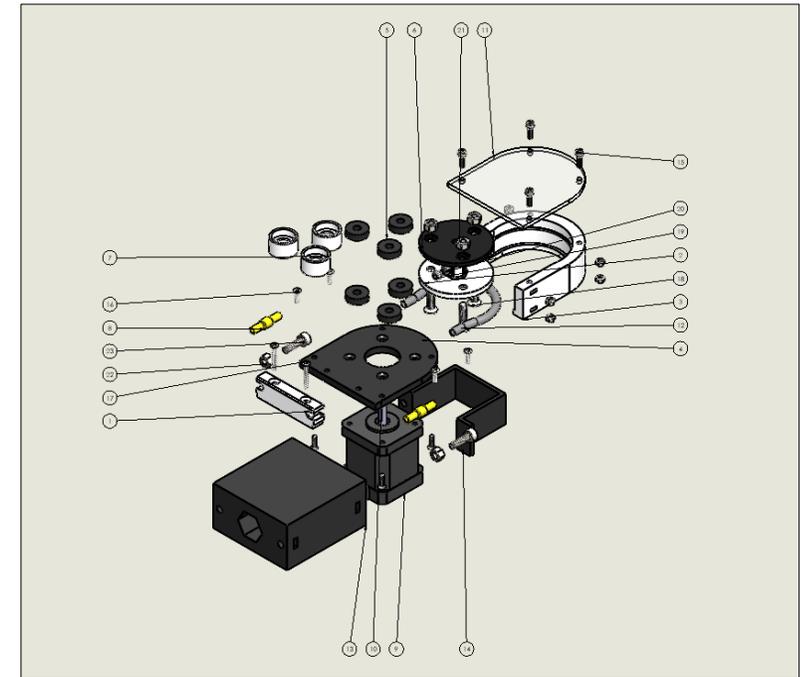
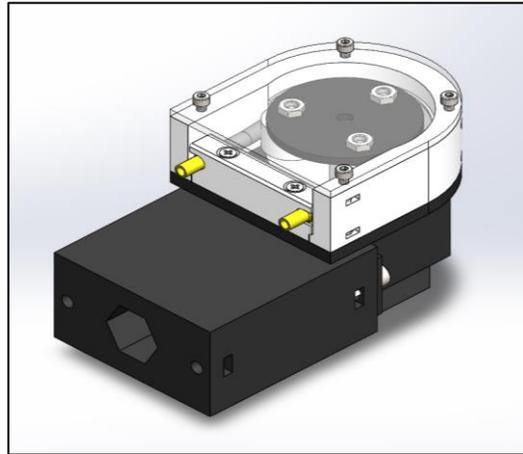
	N04C-09	N04C-05	N04C01
			
d_p	9.64	8.41	6.11
d_s	4.02	5.17	7.19
ξ	2.398	1.626	0.849

	N04C05	N04C09
		
d_p	5.12	3.95
d_s	8.40	9.59
ξ	0.609	0.411

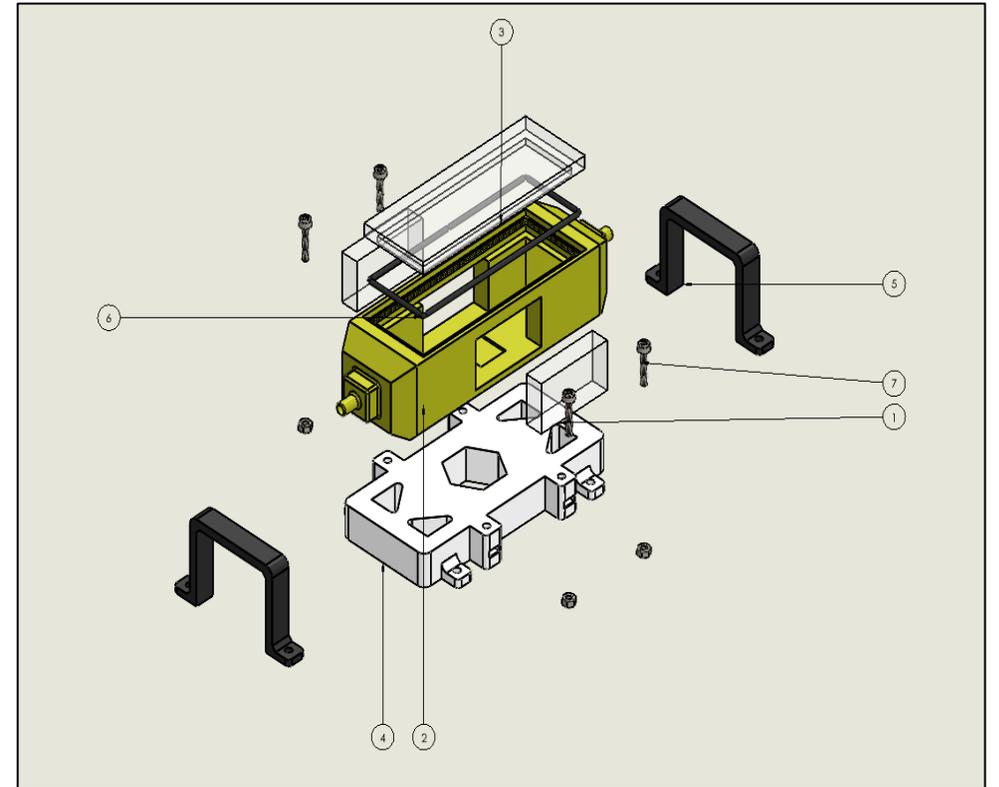
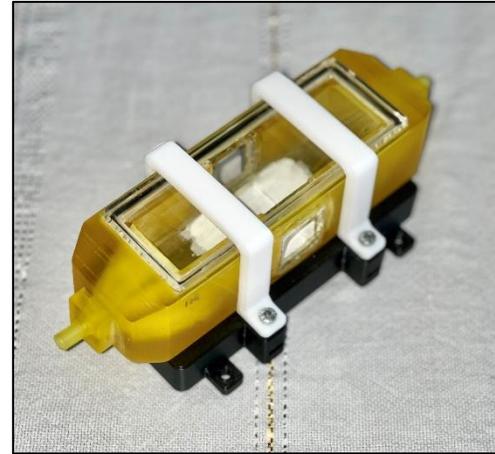
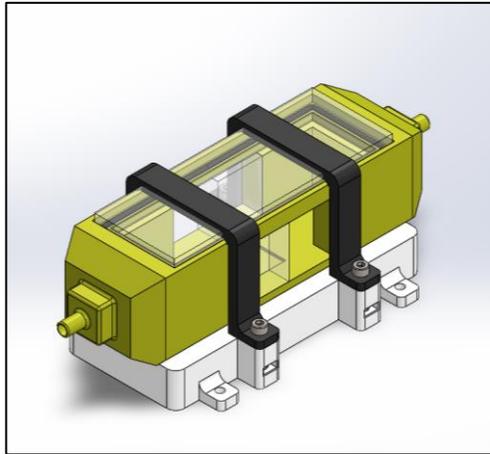
DISEÑO CAD Y CONSTRUCCION CAJA CONTROL



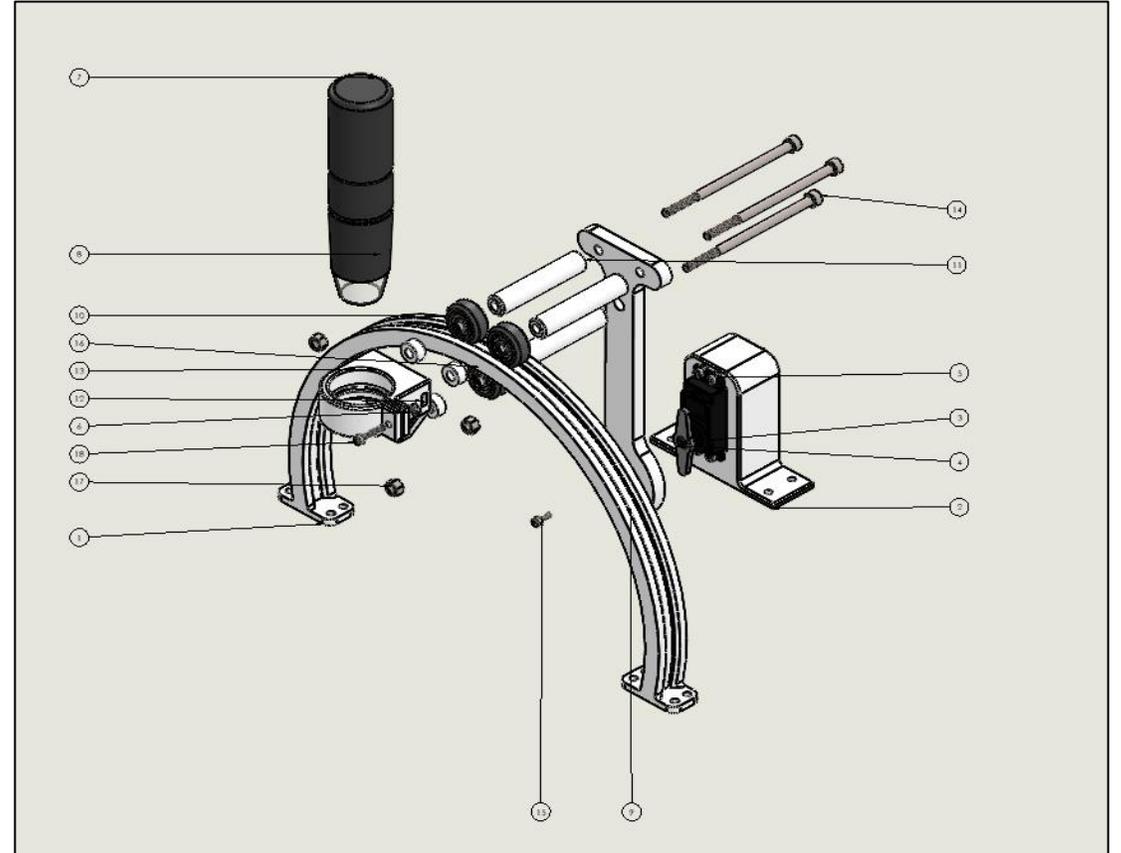
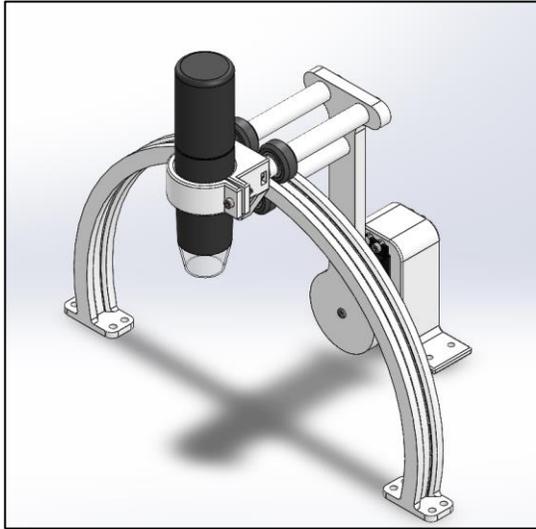
DISEÑO CAD Y CONSTRUCCION DE LA BOMBA PERISTÁLTICA



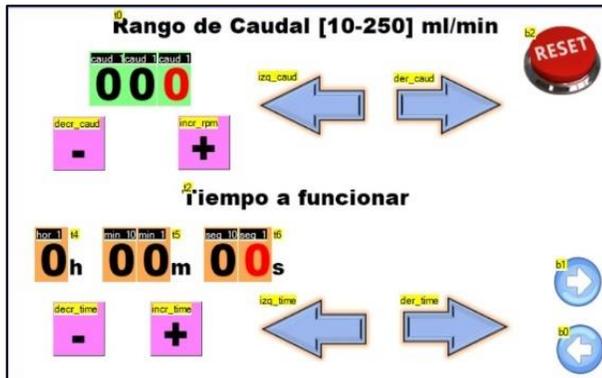
DISEÑO CAD Y CONSTRUCCION DE LA RECÁMARA PARA LAS ESTRUCTURAS TPMS



DISEÑO CAD Y SOPORTE ROTATORIO DEL MICROSCOPIO



SISTEMA DE CONTROL INTERFAZ GRÁFICA



SISTEMA DE CONTROL ARDUINO UNO



```
void loop() {
  if (Serial_1.available() > 0)
  {
    String Received = Serial_1.readString();
    valor_caudal = float(Received[1]) * 100 + float(Received[5]) * 10 + float(Received[9]) + float(Received[13]) / 10;
    //Serial.println(valor_caudal);
    valor_FRECUENCIA_CAUDAL = -(147.69 / (1 - 1.0697 * exp(0.0043403 * valor_caudal)));
    a = Received[0];
  }
  if (a == 'm')
  {
    if (valor_caudal > 0)
    {
      //Serial.println("Mtores encendidos...");
      digitalWrite(EN, LOW);
      digitalWrite(STEP, HIGH); // Sube el pin STEP
      delayMicroseconds(valor_FRECUENCIA_CAUDAL / 2); // Mitad del periodo
      digitalWrite(STEP, LOW); // Vuelve a bajarlo
      delayMicroseconds(valor_FRECUENCIA_CAUDAL / 2); // La otra mitad
    }
  }
  if (valor_caudal == 0)
  {
    digitalWrite(EN, HIGH);
    //Serial.println("Mtores pagados...");
  }
}
```

CONTENIDO

1. RESUMEN

2. INTRODUCCIÓN

3. OBJETIVOS

4. MARCO TEÓRICO

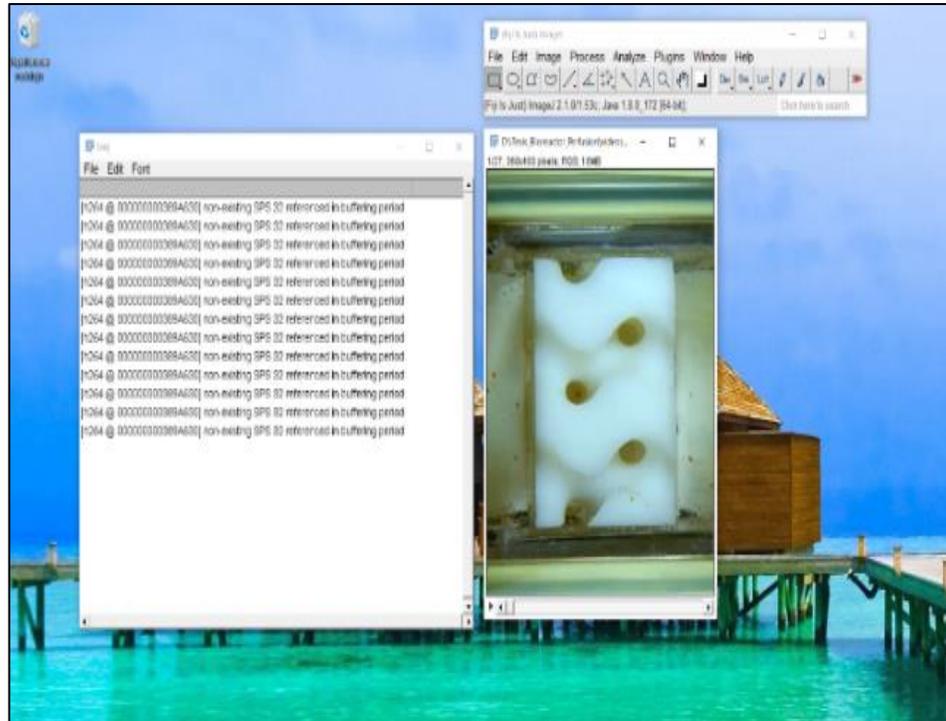
5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

6. PRUEBAS

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANÁLISIS DE PARTICULAS SOFTWARE IMAGEJ (FIJI)



CONTENIDO

1. RESUMEN

2. INTRODUCCIÓN

3. OBJETIVOS

4. MARCO TEÓRICO

5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

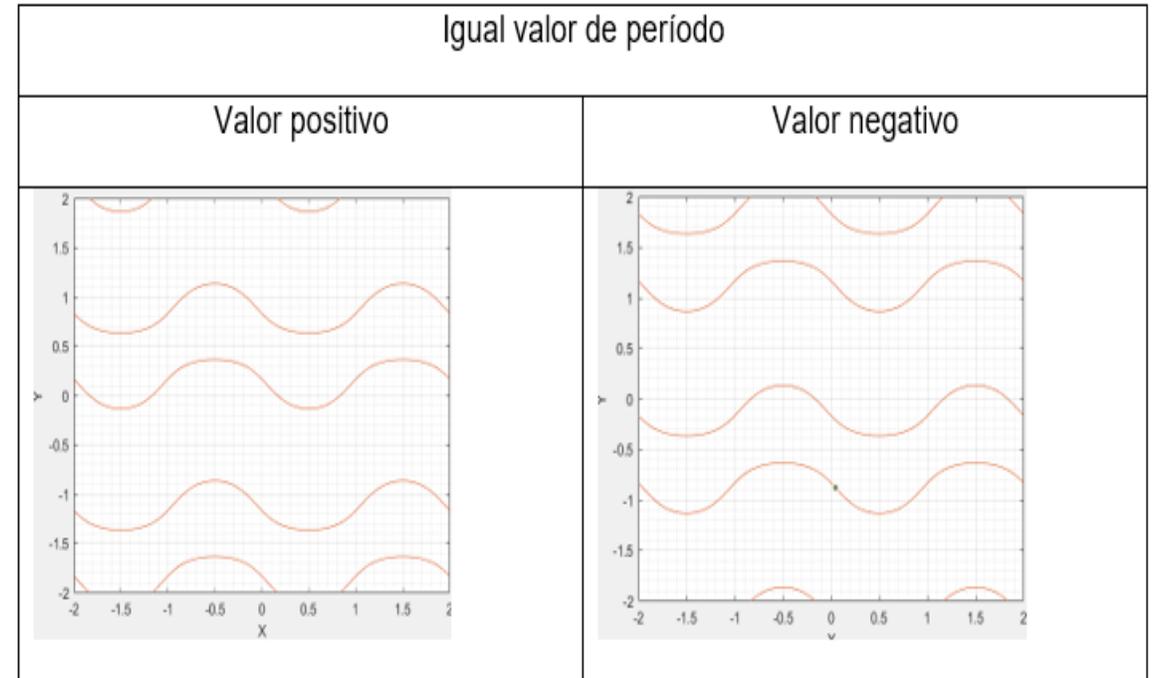
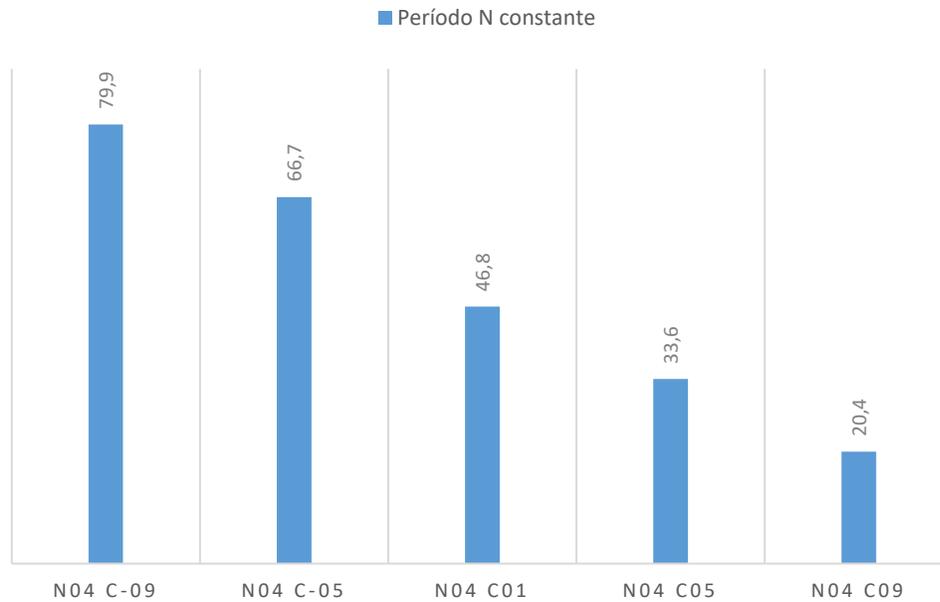
6. PRUEBAS

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

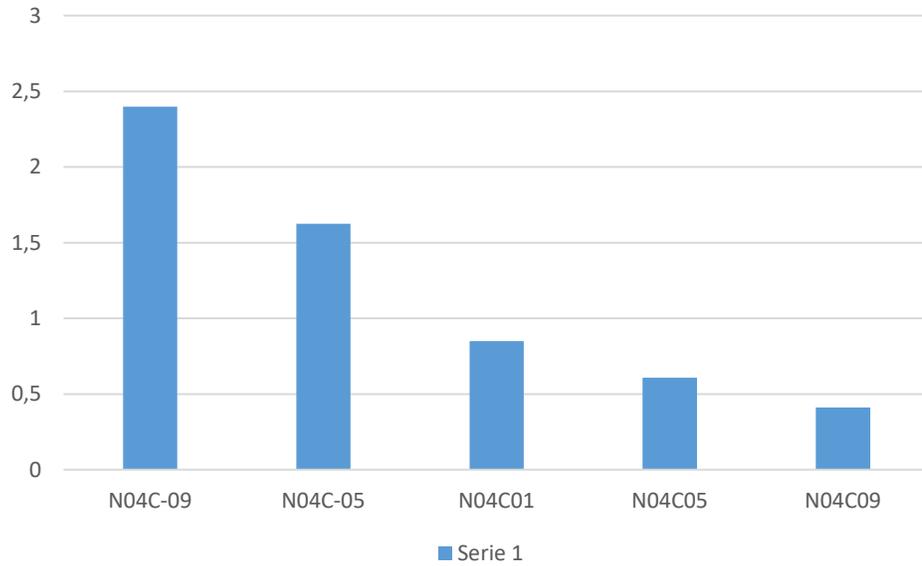
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ESTRUCTURAS POROSAS

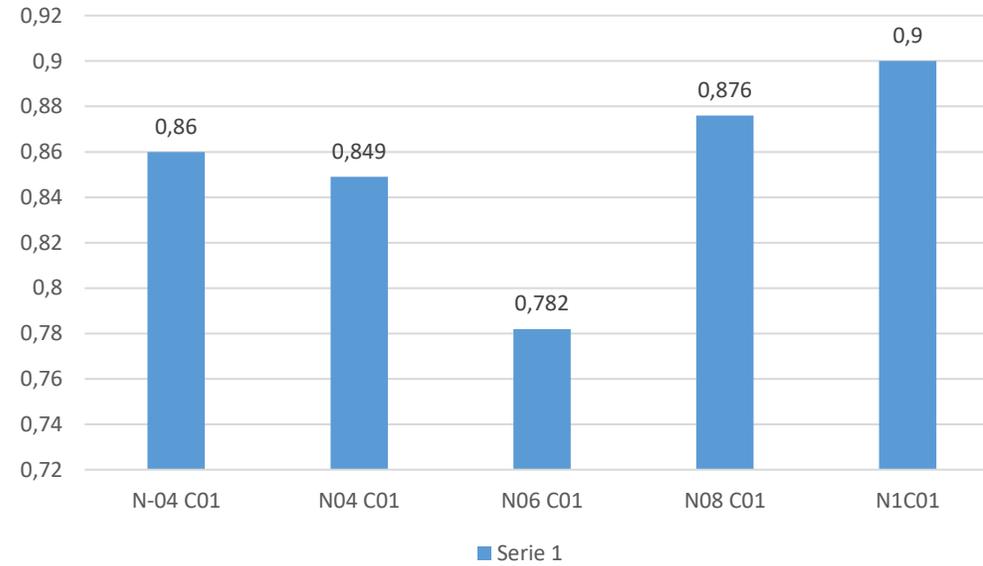
PERÍODO N CONSTANTE



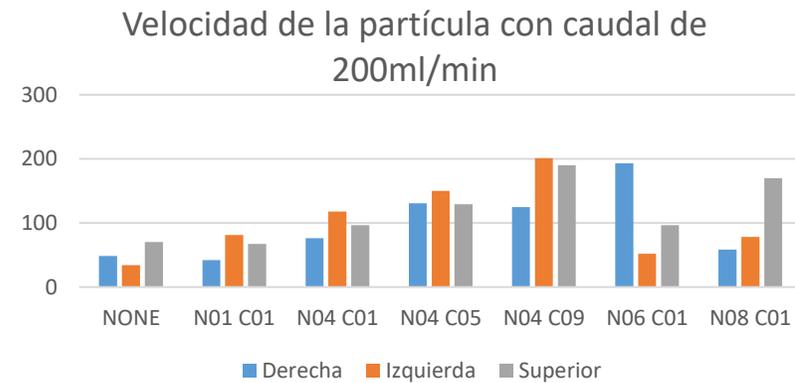
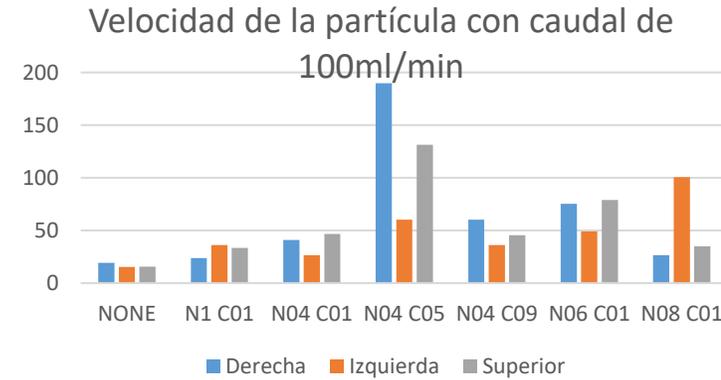
Relacion entre radio del poro y tamaño del soporte Conjunto N



Relacion entre radio del poro y tamaño del soporte Conjunto C



DIRECCIÓN	ML/MIN	NONE	N1 C01	N04 C01	N04 C05	N04 C09	N06 C01	N08 C01
Derecha	100	19,19	23,88	40,94	189,83	60,3	75,43	26,49
	200	48,23	41,75	75,91	130,83	124,93	192,98	58,19
Izquierda	100	15,49	36,27	26,58	60,24	36,15	49,1	100,79
	200	34,18	80,86	117,83	149,87	200,87	51,72	78,23
Superior	100	15,64	33,38	46,73	131,29	45,55	78,93	34,93
	200	69,95	67,45	96,55	129,22	190	96,5	169,55



CONTENIDO

1. RESUMEN

2. INTRODUCCIÓN

3. OBJETIVOS

4. MARCO TEÓRICO

5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

6. PRUEBAS

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un prototipo de sistema de recirculación de fluidos a través de estructuras porosas tridimensionales para el análisis de flujo laminar mediante visión artificial, y mediante las pruebas realizadas se comprobó su funcionamiento.

Al investigar sobre los parámetros necesarios para la elaboración del prototipo se identificó a la bomba peristáltica y las estructuras porosas como aquellos elementos que demandaran mayor atención debido a su alto grado de complejidad tanto de diseño como de construcción.

El diseño de la bomba peristáltica parte de las principales características del motor a pasos a utilizar que según el fabricante son 3.6N.cm a una velocidad de 200RPM, mediante estos datos se pueden calcular y estimar algunos datos, entre los cuales resalta el caudal de la bomba. El diámetro de la bomba es un criterio del diseñador que debe ser evaluado con los cálculos respectivos; se establece un valor de 57.5mm.

El diámetro de la manguera calculado debe ser de 4mm interno, su medida externa no se encuentra en los cálculos debido a que esto dependerá de la disposición en el mercado. Las medidas de la manguera se establecieron como 4mm interno y 5.5mm externo.

Es necesario conocer la fuerza tangencial de aplastamiento de la manguera para verificar la factibilidad del motor elegido, mediante cálculos se determina un valor de 0.56N para condiciones de vacío y de 1.17N para condiciones de trabajo. Valores muy por debajo del proporcionado para el motor por el fabricante.

Los cálculos para la bomba peristáltica en condiciones normales generan un valor de caudal de 4.11 *ml/seg* a una velocidad de 200RPM. Mediante las pruebas realizadas, se establece que para un valor de frecuencia igual a 75 en el microcontrolador, la bomba genera un caudal de 4.16 *ml/seg*.

El número de Reynolds es aplicable a fluidos en movimiento para establecer si presentan un flujo laminar o turbulento. Para ello establece que los valores inferiores a 2300 se consideran parte de un flujo laminar, se establece un valor de 2279 para el flujo presente dentro del proyecto. Por lo cual se considera un flujo laminar.

Para el diseño de las estructuras porosas es necesario un software de modelamiento matemático como Matlab. Sin embargo, una alternativa a éste es el software MathMod que además de ser gratuito provee un entorno especializado para la creación de estructuras mínimas periódicas como es el giroide.

El banco de pruebas realizado con 42 casos forma parte de dos conjuntos generales a un valor de caudal establecido, los valores seleccionados fueron 100 y 200 ml/min. Estos valores generan una velocidad de la partícula, de acuerdo a la estructura porosa colocada, de entre 50 y 100 mm/s según las figuras 58 y 59.

La alimentación de todo el sistema depende de la red local, la caja de control contiene una fuente de 110ac a 12vcc a 5amp, necesaria para alimentar el motor a pasos de la bomba peristáltica; un transformador de 12vcc a 6vcc para alimentar el servomotor y una fuente de 110ac a 5vcc para la pantalla Nextion de 5" y el arduino uno.

RECOMENDACIONES

Considerando lo anteriormente mencionado, el diseño de una bomba de este tipo debe tratar de eliminar en lo posible la existencia de cavitación, ya que de no hacerlo se verían afectados parámetros de trabajo, dañaría el equipo, además de elevar el consumo energético del mismo.

Verificar el estado de la manguera interna de la bomba peristáltica previo a su funcionamiento, ya que debido al aplastamiento por los rodillos puede llegar a quebrarse en alguna sección.

Previo al iniciar las pruebas se debe realizar un llenado de la recámara, para ello se colocará la misma en posición de 45° , para que el líquido la llene completamente evitando posibles espacios de aire y reduciendo así el riesgo de cavitación.

Las partículas a utilizar deben estar suspendidas dentro del fluido y no sedimentarse. Para ello es necesario realizar pruebas con varias partículas y colocarlas dentro de un recipiente con el fluido a analizar; posteriormente utilizar únicamente las partículas suspendidas en el fluido.

Las partículas que resultaron más adecuadas para el presente análisis fueron las Capsicum annum encontradas en presentación de 24gr dentro del mercado local, debido a que sus características son adecuadas para un mejor análisis.

**GRACIAS POR SU
ATENCIÓN**