



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA:

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MEZCLADOR MICROFLUÍDICO
MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAM PARA LA UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial.

Autor

Santacruz Ron Cristopher Samir

Tutor

PhD. Escudero Villa Pedro Fernando

AMBATO - ECUADOR

2022

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

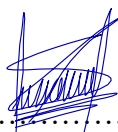
Yo, Santacruz Ron Cristopher Samir declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular con el nombre **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MEZCLADOR MICROFLUÍDICO MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAM PARA LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA”**, como requisito para optar al grado de Ingeniero Industrial y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Ambato, a los 07 días del mes de septiembre del 2022, firmo conforme:

Autor: Santacruz Ron Cristopher Samir



Firma:

Número de Cédula: 1500835457

Dirección: Napo, Tena, Muyuna, Flor del Valle N°1

Correo Electrónico: santacruzcrisopher2@gmail.com

Teléfono: 0979257534

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MEZCLADOR MICROFLUÍDICO MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAM PARA LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA”** presentado por Santacruz Ron Christopher Samir, para optar por el Título de Ingeniero Industrial,

CERTIFICO

Que dicho Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por de parte los Lectores que se designe.

Ambato, 07 de septiembre del 2022



Firmado electrónicamente por:
**PEDRO FERNANDO
ESCUDERO VILLA**

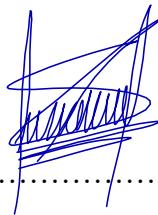
.....

PhD. Pedro Fernando Escudero Villa

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Integración Curricular, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero Industrial, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Ambato, 07 de septiembre del 2022

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above a horizontal dotted line.

Cristopher Samir Santacruz Ron

1500835457

APROBACIÓN DE LECTORES

El Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MEZCLADOR MICROFLUÍDICO MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAM PARA LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA”, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del Trabajo de Integración Curricular.

Ambato, 07 de septiembre del 2022

**FERNANDO
DAVID SAA
TAPIA** Firmado digitalmente
por FERNANDO
DAVID SAA TAPIA
Fecha: 2022.09.08
10:33:36 -05'00'

.....

MSc. Fernando David Saá Tapia

LECTOR

**Juan Cruz
Villacis** Firmado
digitalmente por
Juan Cruz Villacis
Fecha: 2022.09.08
10:06:27 -05'00'

.....

MSc. Juan Serafín Cruz Villacís

LECTOR

DEDICATORIA

A mis padres por siempre confiar en mí apoyarme en todo momento y sus palabras de aliento durante todo este tiempo para llegar a cumplir con mi objetivo.

A mis amigos y seres queridos que siempre estuvieron presentes y que de

alguna manera me ayudó en este transcurso de preparación,

con los cuales he compartido gratos momentos.

AGRADECIMIENTO

A la facultad de ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica Indoamerica a todo el ingeniero docente que supieron impartir sus conocimientos dentro y fuera de las aulas, a los encargados de los laboratorios que siempre estuvieron presto en brindarnos su ayuda. A todas las personas que colaboraron para la elaboración de este tema de investigación

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
AUTORIZACIÓN PARA EL REPOSITORIO DIGITAL	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROVACIÓN DEL TRIBUNAL.....	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE IMÁGENES	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN EJECUTIVO	xvii
ABSTRACT	xviii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN	17
ANTECEDENTES.....	18
JUSTIFICACIÓN	20
OBJETIVO GENERAL.....	21
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21

CAPÍTULO II

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA	22
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	23
ÁREA DE ESTUDIO.	40

MODELO OPERATIVO.....	41
DESARROLLO DEL MODELO OPERATIVO.....	42
ELABORACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE LA CASA DE LA CALIDAD QFD.....	45

CAPÍTULO III

PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA.	47
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MEZCLADOR MICROFLUÍDICO. ...	48
DISEÑO DEL DISPOSITIVO.....	53
SIMULACIÓN FLUÍDICA	57
FABRICACIÓN DEL DISPOSITIVO	62
RESULTADOS ESPERADOS	72
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	73
ANÁLISIS DE COSTOS.....	74

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFÍA	77
ANEXOS	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de nivel de confianza.....	27
Tabla 2: Valores para el cálculo de la muestra	27
Tabla 3: Técnicas de fabricación.....	33
Tabla 4: Área de estudio.....	40
Tabla 5: Característica de materiales	62
Tabla 6: Mecanizado laser	63
Tabla 7: Características de mecanizado por Fresadora.....	65
Tabla 8: Preparación del PDMS.....	68
Tabla 9: Cronograma de implementación	73
Tabla 10: Análisis de costo	74

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1.- Universidad Tecnológica Indoamérica campus Manuela Sáenz	23
Imagen 2.- Planos del laboratorio de ciencias básicas, FITIC	23
Imagen 3.- Técnica de fabricación FDM	34
Imagen 4.- Técnico de fabricación EBF3.....	34
Imagen 5.- Técnica de fabricado DMLS	35
Imagen 6.- Técnica de fabricado EBM	36
Imagen 7.- Técnica de fabricación SHS.....	36
Imagen 8.- Esquema de sinterizado selectivo por láser (SLS).....	37
Imagen 9.- Proyección aglutinante (DSPC)	38
Imagen 10.- Laminado de capas (LOM)	38
Imagen 11.- Esquema SLA	39
Imagen 12.- Esquema Fotopolimerización ultravioleta (DLP)	39
Imagen 13.- Diseño de mezclador con subniveles	42
Imagen 14: Simulación del comportamiento de los fluidos.....	43
Imagen 15.- Fabricación en acrílico	43
Imagen 16 .- Rozamiento de las gotas en los canales	44
Imagen 17.- Formación de gotas.	44
Imagen 18.- Casa de la calidad mezclador microfluídico	46
Imagen 19.- Representación del flujo. a) flujo laminar, b) flujo turbulento.	48
Imagen 20.- Diseños de mezcladores por advección caótica: a) pared con obstáculos, b) obstáculos dentro del canal, c) canales en zigzag	49
Imagen 21.- Diámetro hidráulico para áreas cuadradas,	49
Imagen 22.- Representación de los 3 tipos de formación pasiva de gotas.	51
Imagen 23.- Acción de las fases continua Fc y dispersa Fd en la generación de gotas	51
Imagen 24.- Representación de los ángulos hidrofílico	52
Imagen 25.- Determinación del ángulo de hidrofílico utilizando ImageJ.....	52
Imagen 26.- Primera versión, componentes del diseño.....	53
Imagen 27.- Plano de la versión 1	54
Imagen 28.- Segunda versión, características	55
Imagen 29.- versión 2, plano a detalle	56

Imagen 30.- Versión final.....	56
Imagen 31.- Simulación fluídica en el modelo 1	58
Imagen 32.- Versión 1, detalles de componentes.....	59
Imagen 33.- Planos de la primera versión	60
Imagen 34.- Modelo 2, versión 2 componentes	61
Imagen 35.- Plano de la versión dos	61
Imagen 36.- Análisis de rugosidad de la superficie de los canales a) modelo 1, b) modelo dos	64
Imagen 37.- Programación G, ingreso de códigos	66
Imagen 38: Códigos para finalizar la programación.....	67
Imagen 39.- Graficas de rugosidad del área de los canales mecanizados por fresadora.....	68
Imagen 40.- Fabricación del dispositivo en PDMS	69
Imagen 41.- Prueba 1 utilizando tinta verde	70
Imagen 42.- Prueba 2 utilizando cinta doble fas	70
Imagen 43.- Prueba 3 utilizando: a) tinta a base de agua, b) aceites biodegradables	71
Imagen 44.- Implementación del Banco de trabajo.....	72

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1.- Porcentaje de respuestas de la pregunta 1.....	28
Grafico 2.- Representación grafica de la pregunta 2.....	28
Grafico 3.- Resultados de fácil aprendizaje	29
Grafico 4.- Conocimiento de aplicación en pruebas de embarazo.....	29
Grafico 5.- Resultados de aplicaciones prácticas.....	30
Grafico 6.- Resultados de las capacidades para diseñar.....	30
Grafico 7.- Resultado de mejor comprensión de los temas.....	31
Grafico 8.- Resultados de la necesidad de implementar los dispositivos.....	31
Grafico 9.- Diagrama del modelo operativo.....	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Manual de uso de los dispositivos microfluídicos.	82
Anexo 2: Lavado y limpieza de los dispositivos	83
Anexo 3: Programa para la visualización de las imágenes en la computadora	83
Anexo 4: Funcionamiento del banco de trabajo movimiento en el eje X,Y y Z.	84
Anexo 5: Pruebas realizadas con los dispositivos	85
Anexo 6: Diseño final del dispositivo	85
Anexo 7: Funcionamiento con el diseño final generación de gotas	86
Anexo 8: Primer prototipo del banco de trabajo.....	86
Anexo 9: Tratamiento térmico del PDMS	87
Anexo 10: Aceites biodegradables empleados en las pruebas.....	87
Anexo 11: Cámara microscópica empleada en el banco de trabajo	88
Anexo 12.- Programación del código G para el mecanizado en frazadera.....	91

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MEZCLADOR MICROFLUÍDICO MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAM PARA LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA”

AUTOR: Santacruz Ron Christopher Samir

TUTOR: PhD. Escudero Villa Pedro Fernando

RESUMEN EJECUTIVO

El presente Trabajo de Titulación tiene como objetivo implementar un mezclador microfluídico utilizando herramientas CAD/CAM para el laboratorio de Ciencias Básicas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, donde se identificó que uno de los problemas más comunes en los laboratorios de la Universidad es la inexistencia de estos mezcladores. Esta tecnología es nueva en el país y solo ha sido utilizada con poca frecuencia en la industria farmacéutica local por su elevado valor de adquisición (valores de importación + valores del dispositivo), así como el alto valor de adquisición de los sistemas de detección y equipo para su desarrollo; además que no se pueden adquirir con facilidad en el país. Para poder disponer de dispositivos microfluídicos mezcladores funcionales, en este trabajo se presenta, **1)** El diseño de dos modelos de mezclador microfluídico mediante el uso del software SolidWorks 2018, **2)** Se realizó la simulación del comportamiento de los fluidos en los sistemas diseñados, **3)** Se fabricaron dos modelos de dispositivos mediante mecanizado de materiales por CNC (Láser y fresadora), y **4)** Se caracterizó los dispositivos en sus diferentes versiones usando tintas acuosas de colores y soluciones en diferentes densidades. Los resultados obtenidos han permitido evaluar la funcionalidad de los dispositivos, así como las posibilidades de mejora. Con estos dispositivos desarrollados se ha podido comprobar que es posible disponer de sistemas mezcladores microfluídicos funcionales y de bajo coste utilizando las herramientas y equipos disponibles en el medio local.

PALABRAS CLAVES: CAD/CAM, Mezclador, Prototipado rápido, Sistemas microfluídicos, Sala blanca.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

THEME: “IMPLEMENTATION OF A MICROFLUIDIC MIXER USING CAD/CAM TOOLS FOR UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA”

AUTHOR: Santacruz Ron Cristopher Samir

TUTOR: PhD. Escudero Villa Pedro Fernando

ABSTRACT

This research aims to implement a microfluidic mixer using CAD/CAM tools in the Basic Sciences Laboratory of the "Universidad Tecnológica Indoamérica". It was identified that one of the most common problems in these laboratories is the lack of mixers. It is a new technology in the country and is used only in the pharmaceutical industry because of high acquisition costs (acquisition values + device values). Therefore, the high acquisition cost of the detection system and equipment for their development. In addition, they can not be procurement easily in this country. In order to provide these functional microfluidic mixers in this research is used: The design of two microfluidic mixer models using the software SOLIDWORKS 2018. Simulation of the behavior of the fluids in the designed systems was carried out. Two device models had manufactured by materials machining by CNC (laser and milling machine). Devices were characterized in different versions using colored aqueous inks and solutions in different densities. The results allowed the evaluation of the functionality of these devices as well as the possibilities to improve them. The development of these devices demonstrates that it is possible to have functional microfluidic mixer systems with lower costs using locally available tools and equipment.

KEYWORDS: CAD/CAM, Mixer, Rapid prototyping, Microfluidic systrms, Clean room.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la aplicación de nuevas tecnologías ha ido evolucionando de una forma gradual abriendo nuevos campos de la ingeniería permitiendo la solución de diferentes problemas que se presentan en la actualidad (Acevedo 2012). Los sistemas microfluídicos se han desarrollado con una gran variedad de aplicaciones en la industria farmacéutica enfocados en la detección de nuevas enfermedades (Parés Meléndez 2020). Por medio del análisis de fluidos del cuerpo humano en equipos médicos como es el caso de los laboratorios montados en un microdispositivo, las bondades de estos dispositivos es la facilidad para su transporte y el uso de pequeñas cantidades de muestras (Lapizco-Encinas 2008) . La microfluídica se encuentra presente en la industria de alimentos, cosméticos, micro reactores y sistemas de microcápsulas con la aplicación de emulsiones múltiples que son obtenidos en los procesos complejos de gotas (Santos et al. 2018). Asimismo, el transporte de los fluidos dentro de un microsistema se basa en la transferencia de calor entre dos líquidos por medio de un conducto(Parés Meléndez 2020), mismos que están diseñados a microescalas evitando que se formen turbulencias o cruces en las líneas y obteniendo una buena mezcla.

A nivel de Ecuador la mayoría de sistemas de microfluídica son fabricados usando tecnología basada en silicio mediante métodos de microfabricación, que a pesar de estar muy bien establecidos y que tienen la ventaja de poder fabricar cientos o miles de dispositivos en una sola fabricación, estos tienen elevados costos, además de presentar la dificultad de no disponer de esta tecnología a nivel local o incluso a nivel de país. También se incluye la dificultad de disponer de materiales para el

desarrollo de los sistemas (Termoplásticos, obleas de silicio, entre otras.). Sin dejar de lado la instrumentación necesaria para la caracterización de los sistemas (perfilómetro, microscopio electrónico, entre otros.)(Carrere 2017).

Actualmente en los laboratorios de la carrera de Ing. Industrial, no se cuenta con un equipo para hacer estudio de propiedades en los fluidos, siendo necesario para analizar mezclas, separaciones, así como también para identificar flujos laminares y turbulentos. Por esta razón se vio necesario implementar el diseño para el prototipo del mezclados microfluídico revisando las geometrías y especificaciones, se moldeara utilizando software (AutoCAD/SolidWords), lo cuales permiten realizar las respectivas pruebas y simulaciones, se cortaran las placas para el dispositivo con cualquier método seleccionado, se retiraran las impurezas internas y se procede a juntas las placas para obtener un dispositivo sólido con canales internos uniformes que permitirán el paso de los fluidos. Para su fabricación se emplean distintos materiales como acrílico, metacrilato, PDMS, papel, vidrio, entre otros.

ANTECEDENTES

En los años 80 se tuvo un avance en el desarrollo de microválvulas, microsensores y microbombas enfocándose en el área de la medicina con dispositivos con escalas inferiores a la decena de micrómetros, los cuales permiten la manipulación celular y el control de pequeños volúmenes de sustancias (Pineda 2016). Existe cierta dificultad al intentar controlar las pequeñas cantidades de fluidos, para eso se empleó nuevos sistemas de micro bombas (Díaz Lantada, 2009)

Según el trabajo desarrollado por (Suárez Castrillón, 2015)plantea desarrollar un prototipo de molde para la inyección de materiales termoplásticos, en el laboratorio de inyección de la Universidad de Pamplona. Realizando varias modificaciones hasta obtener los archivos CAD/CAM para la fabricación en impresión 3D. Así también (Lin, 2014) manifiesta que esta tecnología es una herramienta de gran importancia en la elaboración de piezas complejas que no se pueden fabricar con los moldes tradicionales.

Según (Chudnovsky, 1985) en su artículo científico titulado “La difusión de tecnologías de punta en la argentina: el caso de las máquinas herramientas con control numérico, el CAD/CAM y los Robots” donde menciona el desarrollo de la microelectrónica la cual ha ido evolucionando y ha permitido aumentar el campo de aplicaciones a una serie de actividades manufactureras que hasta hace poco tiempo eran desconocidas en la tecnología. Como también (Arzapalo Guere, 1997) menciona que los procesos de producción reemplazaron las máquinas convencionales por máquinas tecnológicas con control numérico computarizado (CNC) como también el uso de las computadoras en el diseño y manufactura (CAD/CAM), finalmente se implementó el uso de robots en las empresas industriales.

En el artículo científico “Aplicación de la teoría de restricciones en la implementación de un Sistema de Manufactura CAD-CAM en la industria Metalmecánica-Plástica” (Juiña et al., 2017), plantea adecuar un nuevo proceso de mecanizado CAD-CAM dentro del sector metalmecánico, en productos plásticos, utilizando métodos de inyección y soplado de polímero. En este trabajo estuvo planificado para una duración de 223,17 horas, pero con la implementación de un diseño CAD y un proceso CAM se redujo a 25 horas, concluyendo que es importante un proceso que tome en cuenta el molde a desarrollar y el método de fabricación.

Para fabricación de los dispositivos microfluídicos a nivel mundial utilizan métodos de fabricación como: Fabricación por haz de electrones, proyección aglutinante, laminado de capas, Estereolitografía, entre otra, siendo muy costosos debido a que requieren maquinaria de precisión y equipo como salas blancas (Juárez Jiménez 2018). Estos dispositivos han tomado una ventaja en la industria biomédica a pesar de ser una tecnología nueva, se ha posicionado en los mercados internacionales teniendo un notable crecimiento en sus ventas a partir del año 2013 dentro del campo de la medicina considerándose un proyecto rentable a futuro (Carrere 2017). Dentro del mercado europeo se encuentran todo tipo de diseño que van desde el más sencillo hasta complejos, que varían su tamaño, forma, tipo de material y accesorios llegando a costar desde 27 hasta 197.50 euros (Microfluidic ChipShop 2022)

Según la investigación desarrollada por Parés Meléndez, (2020), plantea Estudiar la eficiencia de diferentes diseños de mezcladores microfluídicos, utilizando como referencia un modelo base de tipo “T”, sobre el rendimiento de mezcla mediante simulación fluidodinámica computacional, concluyendo que para el presente trabajo se utilizó diferentes diseños de mezcladores microfluídicos sobre la efectividad de la mezcla. Mediante la implementación de los diseños en el software de simulación COMSOL Multiphysics, en el cual se estudiaron 15 prototipos diferentes para la identificar los mecanismos de transporte más significativos en cada caso. En la elaboración se utilizó la diferencia en el rendimiento de mezcla con respecto al modelo base tipo “T”.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente la fabricación de los sistemas microfluídico tienen un elevado costo de producción debido a que se emplean maquinaria y equipamientos especiales. De esta problemática nace la **importancia** de realizar este estudio utilizando equipos, herramientas y materiales de nuestro medio reduciendo así el costo de fabricación. Dando un precedente en el ámbito local para el uso de nuevas capacidades experimentales para una gran variedad de aplicaciones dentro de la industria.

Utilizando herramientas y materiales disponibles en nuestro medio se genera un **impacto** en el proceso de fabricación (reduciendo el tiempo, uso de materiales, calidad y la disminución del costo de fabricación), a comparación de los dispositivos que se encuentran actualmente comercializándose en el mercado europeo.

El desarrollo del presente trabajo es de gran **utilidad** porque permite disponer de sistemas funcionales y de fácil uso para realizar ensayos básicos de separación de líquidos. Con la implementación de una plataforma de separación de microgotas ayudará en la elaboración de ensayos de viabilidad como son: separar sustancias homogéneas y heterogéneas, donde la principal ventaja es la reducción gradual de los insumos, y teniendo una separación altamente selectiva y eficaz para análisis de fluidos.

Los **beneficiarios** con la implementación de los sistemas microfluídicos en los laboratorios de Ciencias Básicas de la UTI, de manera directa todos los estudiantes y docentes de la carrera de ingeniería industrial de la Universidad Tecnológica Indoamérica, ya que brindara un apoyo en la comprensión de las cátedras impartidas ampliando las capacidades experimentales dentro de los laboratorios.

Se considera que es **factible** realizar la fabricación e implementación de microsistemas brindando una solución al problema de adquisición y costo de fabricación. Empleando equipos y materiales que se pueden conseguir con facilidad como polímeros (acrílico y policarbonatos) y láminas de vidrio con la finalidad de reducir costos de fabricación, claridad óptica y compatibilidad de muestras.

OBJETIVO GENERAL

- Implementar un mezclador microfluídico utilizando herramientas CAD/CAM para el laboratorio de Ciencias Básicas de la Universidad Tecnológica Indoamérica en la ciudad de Ambato.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar la geometría del molde de los sistemas microfluídicos utilizando herramientas CAD
- Simular el comportamiento fluídico a pequeñas escalas en el funcionamiento del dispositivo.
- Fabricar el mezclador microfluídico utilizando herramientas CAM.
- Caracterizar el sistema microfluídico usando aceites biodegradables.

CAPÍTULO II

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

La Universidad Tecnológica Indoamérica sede Ambato se encuentra ubicada en la Av. Manuela Sáenz y Agramonte, la cual fue fundada en el año de 1985 empezando con un centro de computación hasta el año de 1999 en el cual el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, autorizó el funcionamiento como Instituto, el mismo que fue nombrado Instituto Técnico Superior Indoamérica. Finalmente, el 21 de julio de 1998 se crea la Universidad Tecnológica Indoamérica en la ciudad de Ambato, donde se crearon los laboratorios de Ciencias Básicas en el campus Manuela Sáenz. Estos laboratorios pertenecen a la Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Información y la Comunicación (FITIC) y la carrera de Ingeniería Industrial. Los laboratorios están a cargo de un técnico encargado en el mantenimiento de los equipos institucionales, así también ayuda en el acompañamiento de las guías de las distintas practicas experimentales.

Datos de la empresa

Dirección: Bolívar 20-35 y, Guayaquil, Ambato 180103

Rector: DR Franklin Edmundo Tapia Defaz M.sc

Contactos Información: bienestaruniversitario@uti.edu.ec

Contactos Ambato: 0963091677- 0963092497

Contactos Quito: 0979106868 - 0992950450



Imagen 1.- Universidad Tecnológica Indoamérica campus Manuela Sáenz
Fuente: Página virtual de la Universidad, (2022)

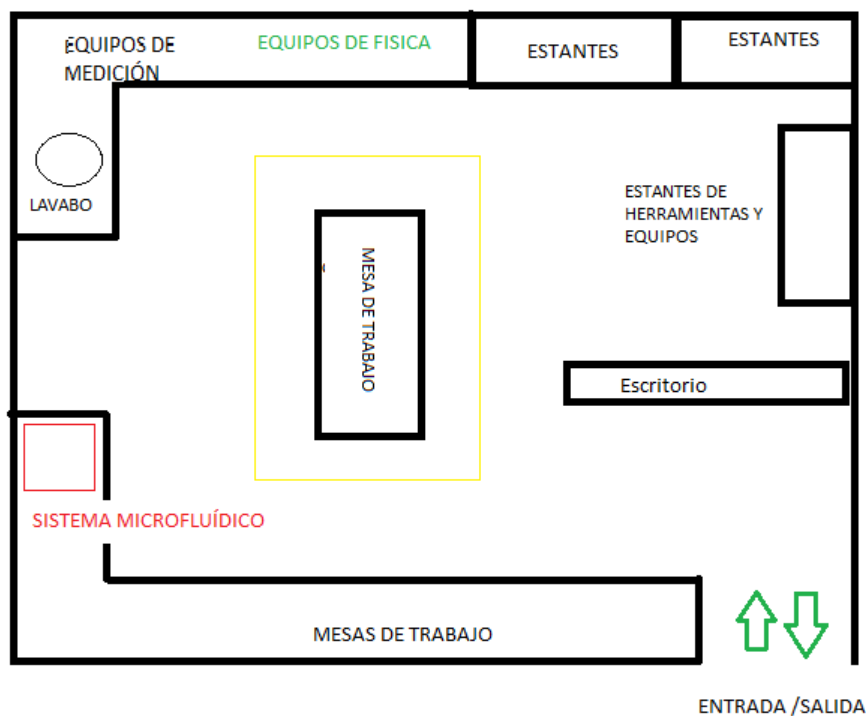


Imagen 2.- Planos del laboratorio de ciencias básicas, FITIC
Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

Actualmente, la tecnología que se utiliza para la implementación del mezclador microfluídico es nueva en el país y su aplicación en las empresas industriales no está inmersa en su totalidad, de tal forma que estos dispositivos no se encuentran

disponibles comercialmente en nuestro medio, siendo importados del extranjero y su costo de adquisición es elevado, así mismo la maquinaria y herramientas a utilizar no se pueden adquirir fácilmente, puesto que utilizados para trabajos a microescala.

En la FITIC existen 8 laboratorios siendo el laboratorio de ciencias básicas (ver imagen 2) el motivo de estudio para la implementación de los dispositivos, que tiene un aforo de 10 personas donde se realizan prácticas de física, química y matemáticas, las mismas que podrán ser aplicadas en el presente dispositivo a desarrollarse.

Prácticas realizadas en el laboratorio.

- Mezcla de soluciones químicas
- Mezclas homogéneas y heterogéneas
- Medición de componentes químicos en las poleas

Redes

Según Lederkremer, (2019) las redes son un conjunto de dispositivos que están conectados entre ellos y comparte información y servicios, dentro de las redes están desarrollados dos roles los cuales son receptores y emisores, las redes en la actualidad están definidas por modelos siendo el más importante el TCP/IP que está basado en el modelo OSI. En una red existen dos tipos de dispositivos conectados los que permiten el acceso como el modem, Router, switch, Access point, entre otros y los dispositivos para la utilización de la red donde tenemos las computadoras, celulares, televisores, etc.

Control industrial

Como se menciona en el trabajo de investigación ejecutado por Copacalle Torrico, (2022) el control industrial es el uso de diferentes tecnologías para inspeccionar y controlar las maquinarias industriales. En este laboratorio se realiza la automatización de sistemas donde se trabaja con controladores lógicos programables (PLC), microcontroladores, etc. Y se aplica en una gran variedad de

cosas, como control de sensores, control de nivel en líquidos, monitoreo, entre otros.

Hidráulica y Neumática

Citando la investigación realizada por Creus Solé, (2011), la hidráulica y la neumática son las encargadas de estudiar las propiedades y aplicaciones de los gases comprimidos y de los líquidos está relacionada principalmente con los sistemas de control analógicos. En este laboratorio se puede realizar las prácticas de movilización de la maquinaria de forma controlada utilizando fluidos hidráulicos, los mismos que van a ser controlados por bombas que controlan el caudal dependiendo de las características de los trabajos a realizar. Se puede emplear los sistemas microfluídicos para la simulación de pequeños circuitos hidráulicos reduciendo los costos de implementación de algunos dispositivos utilizados comúnmente en hidruro, otra de las ventajas de los sistemas microfluídicos es la reducción del espacio de implementación ya que son dispositivos pequeños y de fácil manipulación.

Tecnologías CAD, CAM

Permite crear un modelo del comportamiento de un producto antes que sea construido con la finalidad de realizar pruebas virtuales y pulir los posibles fallos que puede llegar a presentar en su creación, de esta forma el usuario se ahorra tiempo y dinero ya que previene posibles fallas (Rojas Lazo & Rojas Rojas, 2014). Los laboratorios de la Universidad cuentan con los equipos para realizar los diseños utilizando softwares como AutoCAD, SolidWords, entre otros. Donde los estudiantes practican y desarrollan múltiples proyectos para las materias de diseño mecánico.

Esta tecnología nos brinda múltiples beneficios debido a su versatilidad de manejo y simulaciones que se pueden hacer evitando gastos innecesarios hasta obtener un diseño óptimo. La utilización de la Fabricación asistida por computadora (CAM), como se menciona en el trabajo de investigación realizado por (Orejuela Tiaguaro, 2013) es la utilización de ordenadores para automatizar los procesos de fabricación industrial, mediante sistemas de automatización. de igual forma los laboratorios

están equipados con distintos equipos como son: Torno, Fresadora y un láser de control numérico computarizado (CNC), los cuales permiten la fabricación de los diseños ya probados.

Cálculo de la muestra

Una vez identificada las necesidades de la implementación de los dispositivos microfluídico dentro de los laboratorios de la carrera de ingeniería industrial al momento de realizar las prácticas experimentales. Se formuló una encuesta con el fin de recolectar información sobre el conocimiento que tengan los estudiantes sobre los mezcladores microfluídicos y ventajas que brindarán estos sistemas dentro de los laboratorios de prácticas, para lo cual se va a utilizar la fórmula de cálculo de la muestra para obtener el número de personas a entrevistar.

Para obtener nuestro tamaño de muestra se tomó como referencia una población de 140 estudiantes de la carrera de ingeniería industrial de la modalidad para la realización de este estudio se aplicó la siguiente fórmula.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

(Saraí Aguilar-Barojas 2005)

(Ec. 1)

Donde:

n= Tamaño de número de muestra buscado (número de encuestas)

N= Tamaño de la población o universo

Z= nivel de confiabilidad

e= error de estimación máxima aceptado

p= probabilidad de que ocurra el evento

q= (**N-1**) = probabilidad que no ocurra el evento

Tabla 1: Valores de nivel de confianza

Nivel de confianza	Z
99.7%	3
99%	2.58
98%	2.33
96%	2.05
95%	1.96
90%	1.645
80%	1.28
50%	0.674

Fuente: (Saraí Aguilar-Barojas 2005)

Para el nivel de confiabilidad **Z** se toma encuentra la siguiente tabla 1, que nos da valores máximos y mínimos que van desde 99.7% hasta 50% respectivamente.

Tabla 2: Valores para el cálculo de la muestra

Parámetro	Valor
N	140
Z	1.96
e	3%
p	50%
q	50%

Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)

$$n = \frac{140 * (1.96)^2 * 50\% * 50\%}{(3\%)^2 * (140 - 1) + (1.96)^2 * 50\% * 50\%}$$

$$n = 123.87$$

Con los valores de la tabla 2 se procedió a reemplazar en la Ec.1, Para este estudio se empleó un nivel de confianza del 95% que es igual a 1.96 que se encuentra en la tabla 1. Obteniendo un tamaño de muestra de 124 personas a quien se va aplicar la encuesta, obteniendo los resultados de aceptación e importancia de implementar los

sistemas microfluídico en los laboratorios, que se muestran a continuación en las siguientes gráficas.

Encuesta aplicada a los estudiantes

1. ¿Tenía usted conocimiento sobre los sistemas microfluídicos y su aplicación?

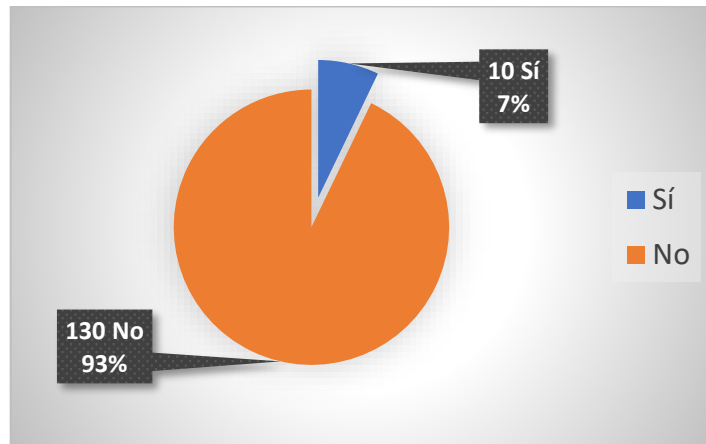


Gráfico 1.- Porcentaje de respuestas de la pregunta 1.
Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

2. ¿Ha tenido alguna experiencia en el uso de sistemas microfluídicos?

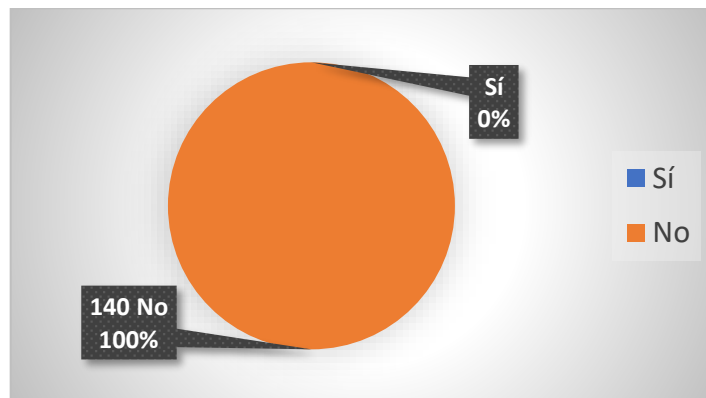


Gráfico 2.- Representación gráfica de la pregunta 2
Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

3. ¿Cree usted que estos sistemas portátiles facilitan el aprendizaje en el área de mecánica de fluidos?

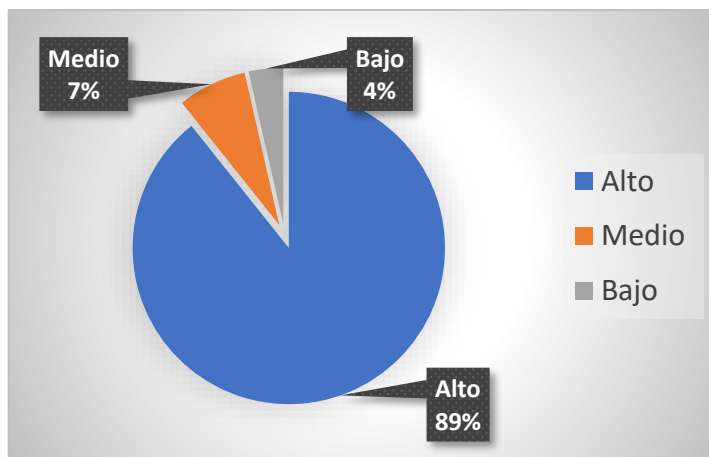


Grafico 3.- Resultados de fácil aprendizaje
Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)

4. ¿Tenía usted conocimiento que estos sistemas microfluídicos se emplean en exámenes como las pruebas de embarazo?

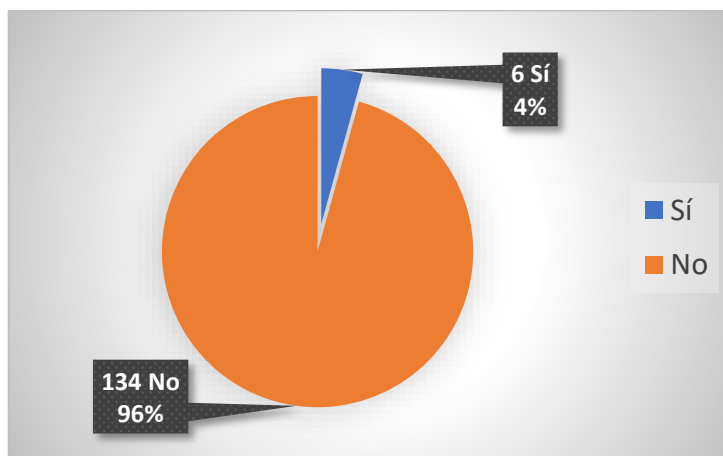


Grafico 4.- Conocimiento de aplicación en pruebas de embarazo
Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)

5. ¿Le gustaría que los temas de ciencias básicas fueran más prácticos empleando los sistemas microfluídicos?

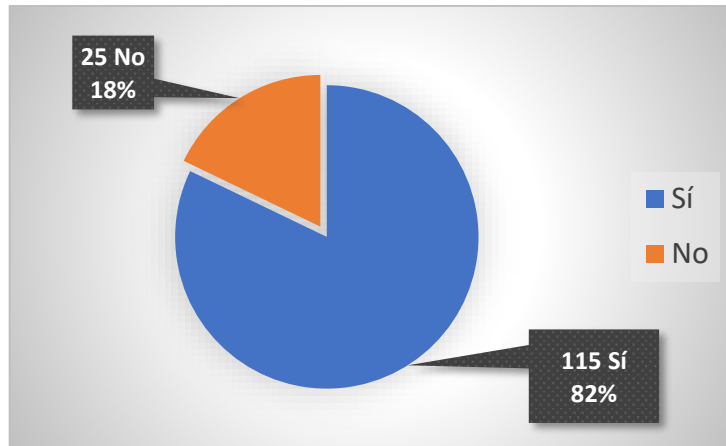


Grafico 5.- Resultados de aplicaciones prácticas
Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

6. Con los conocimientos que posee está usted en la capacidad de diseñar estos dispositivos utilizando softwares de diseño (Solidworks, AutoCAD, entre otros)

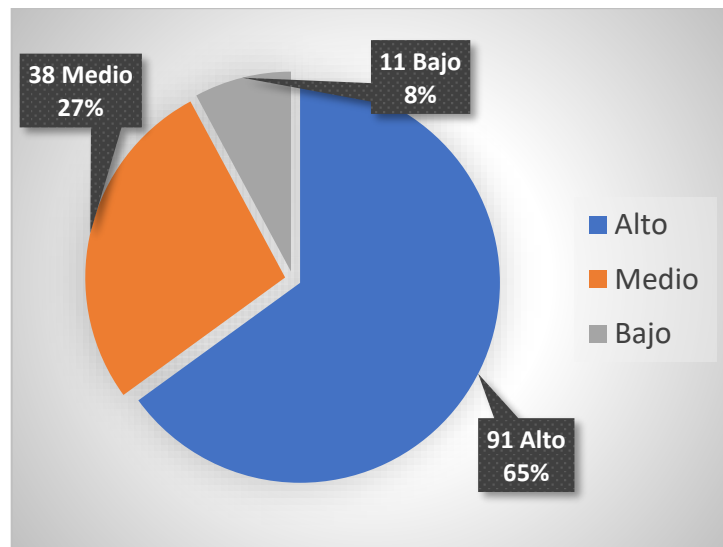


Grafico 6.- Resultados de las capacidades para diseñar
Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

7. ¿El sistema microfluídico permitirá la comprensión de los temas de interés o de estudio tales como (Química, física, mecánica de fluidos y resistencia de materiales)?

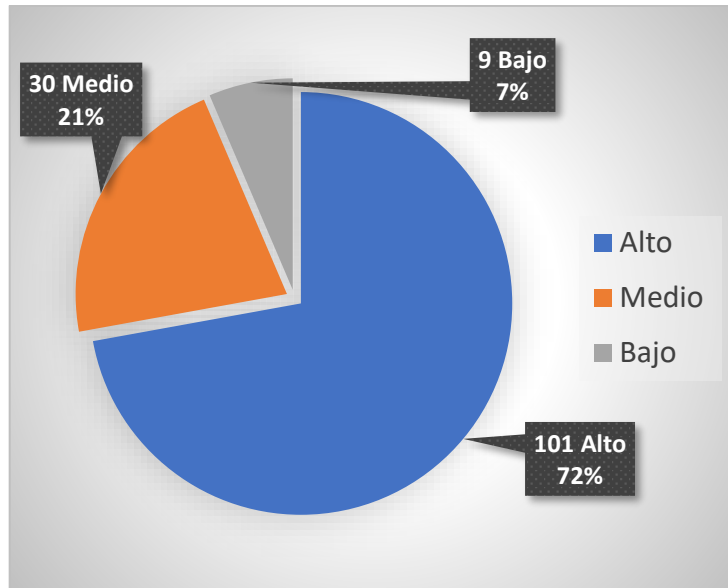


Grafico 7.- Resultado de mejor comprensión de los temas
Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)

8. ¿Cree usted que existe la necesidad de disponer de sistemas microfluídicos en los laboratorios de prácticas?

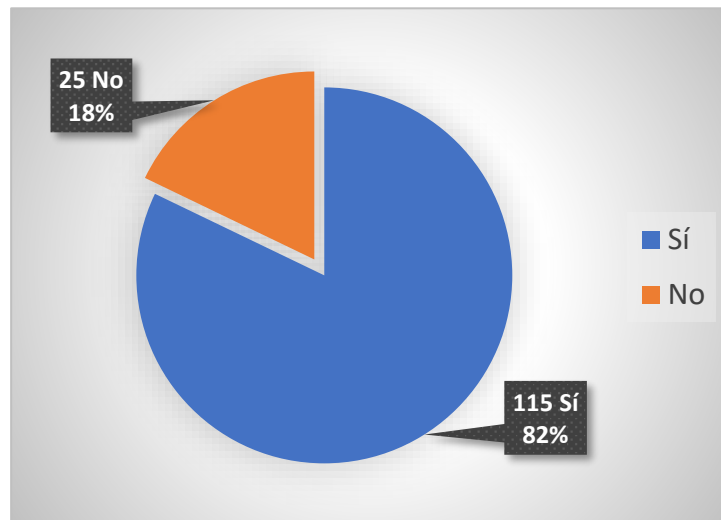


Grafico 8.- Resultados de la necesidad de implementar los dispositivos
Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)

Análisis de resultados de la encuesta

En la encuesta aplicada a los estudiantes de la FITIC la gran mayoría de los estudiantes de la carrera un 93% no tiene conocimiento de los sistemas microfluídicos y sus aplicaciones, mientras que el 11% restante manifestó que tenía

cierto conocimiento de estos sistemas; de igual manera se obtuvo un 100% en las respuestas con referencia a que nunca han usado estos sistemas; con referencia a la pregunta tres de la encuesta el 89% respondió que sería alto el aprendizaje en mecánica de fluidos aplicando estos sistemas ya que permitiría una interacción práctica en el comportamiento de los líquidos, mientras que el 7% y 4% que se ría mediano y bajo la influencia de un aprendizaje en mecánica de fluidos.

El 96% de los estudiantes no tenía conocimiento de la aplicación de estos sistemas en exámenes que están a nuestro alcance y disposición como son las pruebas de embarazo y el 4% si tenía conocimiento que se empleaban estos microsistemas; un 82% de los estudiantes les gustaría que las materias de ciencia básicas fueran más prácticas empleado estos sistemas y el 18% cree que no hace falta. Un 65% cree que, si está en capacidad de hacer diseños microfluídicos para posteriores estudios, mientras que 28% y 12% pieza que necesitan mayores conocimientos y se estudie más afondo las herramientas para el manejo de los softwares de diseño. La gran mayoría de los estudiantes encuetados con el 82% respondieron a la necesidad de implementar estos sistemas dentro de los laboratorios, que les permitirá comprender de mejor manera las temáticas impartidas dentro de la carrera y ampliar los conocimientos en el uso de esta nueva tecnología con el estudio del comportamiento de los fluidos utilizando pequeñas cantidades de reactivos teniendo en cuenta la reducción de los costos para realizar sus prácticas de laboratorio.

Técnica de prototipado rápido

La técnica de prototipado rápido ayuda en la fabricación de los prototipos físicos que son elaborados digitalmente en tres dimensiones por medio de un ordenador. Esta permite crear piezas de manera instantánea de una forma precisa con mayor características en el diseño y reduciendo los fallos en producción reduciendo así la fabricación tradicional de estos prototipos (Juárez Jiménez, 2018).

La fabricación de los prototipos se realiza por medio de un software el cual permite diseñar la geometría del dispositivo, seguido de esto se transforma en archivo CAD a formato STL, permitiendo con esto generar las directrices y características de las capas dependiendo el tipo de fabricación a escoger. Asimismo, dependiendo el

modelo del prototipo se debe seleccionar si se requiere estructuras de soporte para las piezas, las cuales serán cortadas cuando se finalice el proceso de impresión para luego ser pasado al proceso de acabados que determinan la geometría de la pieza que se definió para el diseño.

Tabla 3: Técnicas de fabricación

Tipo	Tecnología
Extrusión	Modelado por deposición fundida (FDM)
Hilado	Fabricación por haz de electrones (EBF3)
Granulado	Sinterizado de metal por láses (DMLS)
	Fusión por haz de electrones (EBM)
	Sinterizado selectivo por calor (SHS)
	Sinterizado selectivo por láser (SLS)
	Proyecto aglutinante (DSPC)
Laminado	Laminado de capas (LOM)
Fotoquímicos	Estereolitografía (SLA)
	Fotopolimerización ultravioleta (DLP)

Fuente: (Juárez Jiménez, 2018).

Modelado por deposición fundida (FDM)

Es la elaboración de piezas después de haber fundido las capas de plástico, que se generan mediante un extrusor cuando las bobinas se calientan a una temperatura que sobrepasa la transición vítrea, una vez fundido el plástico sale por una boquilla en forma de un hilo fundido que permite la elaboración de a pieza, este diseño se obtiene con el movimiento de la boquilla o bien con el movimiento de la pieza (Juárez Jiménez, 2018).

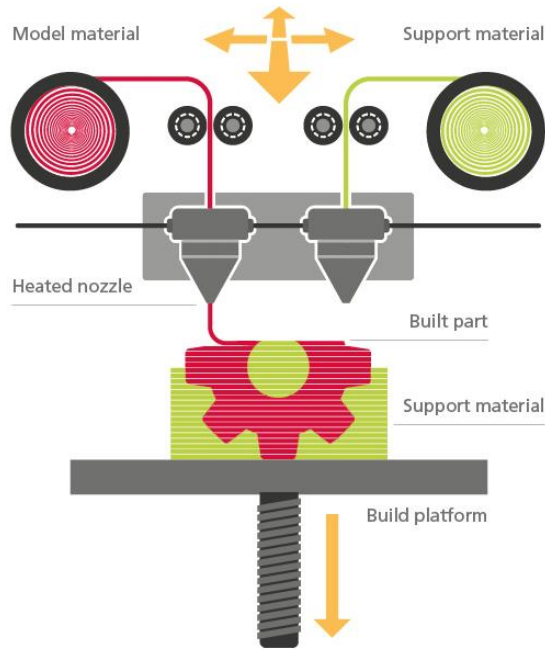


Imagen 3.- Técnica de fabricación FDM
Fuente: (Juárez Jiménez, 2018).

Fabricación por haz de electrones (EBF3)

Esta técnica de fabricación fue desarrollada por ingenieros de la NASA la cual utiliza un haz de electrones para crear las diferentes capas de metal fundido, este proceso se realiza en una cámara al vacío donde el haz de electrones es enfocado al filamento metálico con el que se forma la geometría de la capa deseada ,(Juárez Jiménez, 2018).

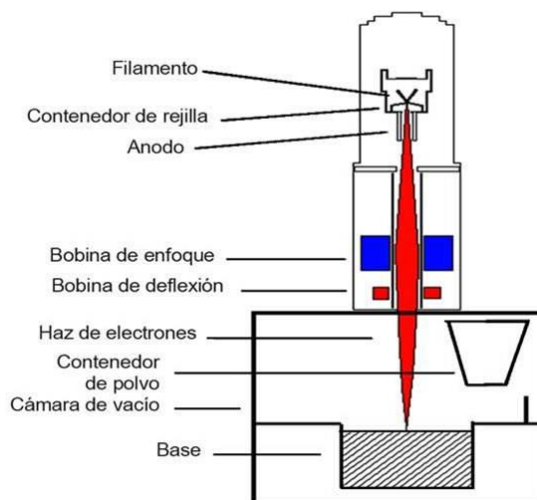


Imagen 4.- Técnico de fabricación EBF3
Fuente: (Juárez Jiménez, 2018).

Sinterizado de metal por láser (DMLS)

Esta técnica de fabricación utiliza el polvo metálico para crear las piezas, el cual es solidificado mediante una aplicación de láser que va siguiendo la geometría que se diseñó de manera digital, con esto se consigue la sintetización del material metálico hasta conseguir la pieza final (Juárez Jiménez, 2018).

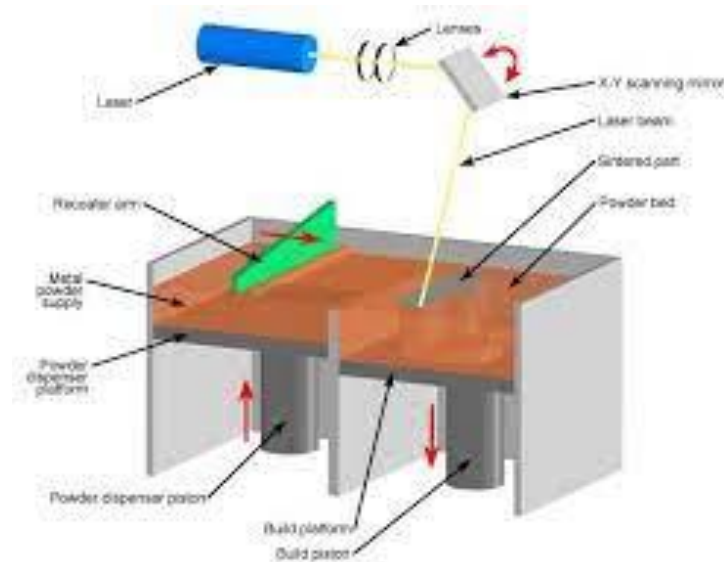


Imagen 5.- Técnica de fabricación DMLS
Fuente: (Juárez Jiménez, 2018).

Fusión por haz de electrones (EBM)

Esta técnica es la combinación entre la técnica EBF3 y DMLS la cual utiliza un haz de electrones para fundir una capa de polvo metálico la cual forma varias capas del modelo, este proceso se realiza en una cámara de vacío que focaliza el haz de electrones en dirección al polvo metálico fundiéndose y obteniendo la capa deseada. Una vez finalizada una capa la plataforma desciende y se aplica otra capa este proceso es repetido hasta obtener la pieza final (Juárez Jiménez, 2018).

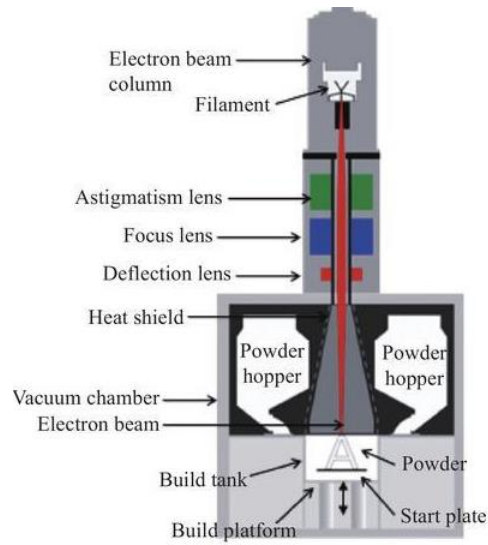


Imagen 6.- Técnica de fabricado EBM
Fuente: (Juárez Jiménez, 2018).

Sinterizado selectivo por calor (SHS)

Esta técnica utiliza calor para fundir capas de polvo de material termoplástico, donde se aplica una capa de este material el cual es fundido por medio de la pistola de impresión térmica en cada segmento deseados obteniendo de esta forma la geometría establecida en el diseño. (Juárez Jiménez, 2018).

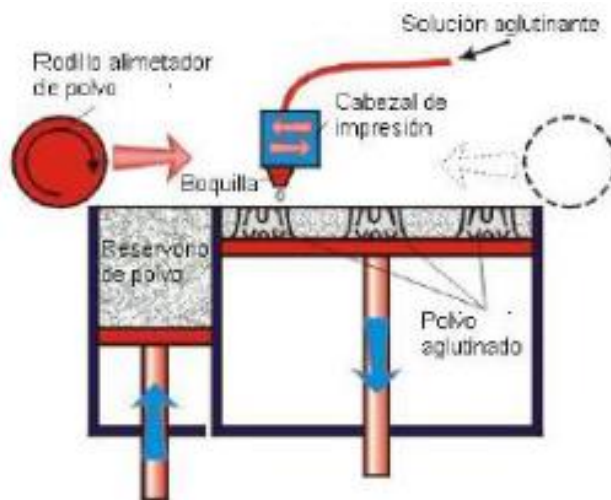


Imagen 7.- Técnica de fabricación SHS
Fuente: (Juárez Jiménez, 2018).

Sinterizado selectivo por láser (SLS)

La utilización de esta técnica consiste en depositar una capa de material en polvo de una décima de milímetro de espesor, en un recipiente que se encuentra a una temperatura establecida que con el contacto con el láser se fusiona y se solidifica, obteniendo así una capa este proceso se repite hasta obtener el diseño propuesto. El material que no es solidificado sirve de soporte de la pieza y una vez finalizado puede ser reutilizado para futuros trabajos (Juárez Jiménez, 2018).

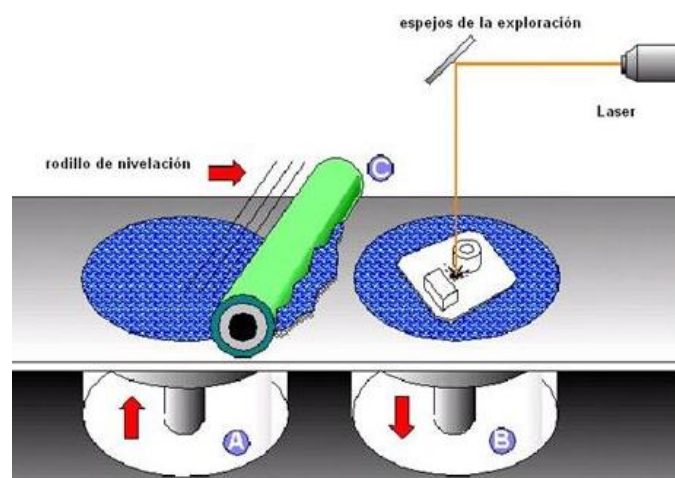


Imagen 8.- Esquema de sinterizado selectivo por láser (SLS)
Fuente: (Juárez Jiménez, 2018).

Proyección aglutinante (DSPC)

Esta tecnología utiliza material en polvo el cual es colocado en una fina capa con un mecanismo de rodillo sobre la plataforma donde se construye la pieza, una vez realizado este proceso se utiliza la tecnología de inyección de tinta convencional, donde el cabezal de la impresora coloca el aglutinante de manera simultánea con la trayectoria del diseño mediante un pistón, seguido del rodillo que dispersa el material que sea uniforme, este proceso se realiza hasta finalizar la pieza (Juárez Jiménez, 2018).

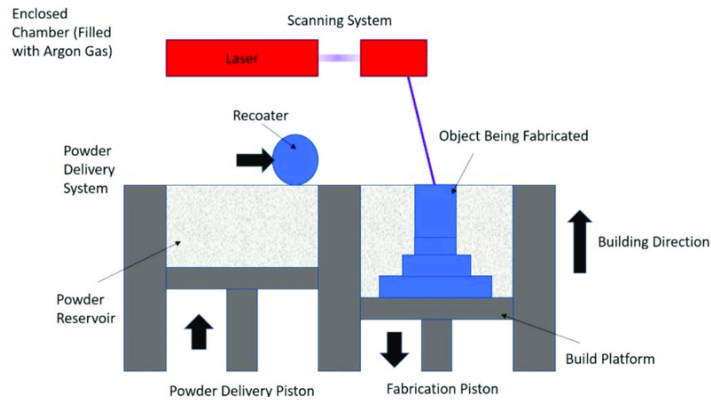


Imagen 9.- Proyección aglutinante (DSPC)
Fuente: (Juárez Jiménez, 2018).

Laminado de capas (LOM)

Esta técnica se utiliza con el corte de la lámina según la forma que se requiere y es recubierto con un adhesivo para ser prensado con un rodillo caliente quedando bien prensado, este proceso es repetido hasta obtener el prototipo diseñado (Juárez Jiménez, 2018).

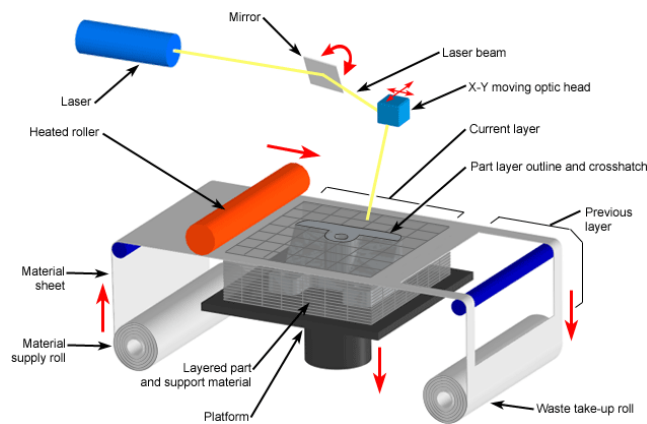


Imagen 10.- Laminado de capas (LOM)
Fuente: (Juárez Jiménez, 2018).

Estereolitografía (SLA)

Es la utilización de material fotopolimérico en estado líquido, el mismo que es curado y solidificado por medio de un láser que utiliza un rayo UV. Una vez solidificado el elevador desciende y dibuja la siguiente capa encima de la anterior (Juárez Jiménez, 2018).

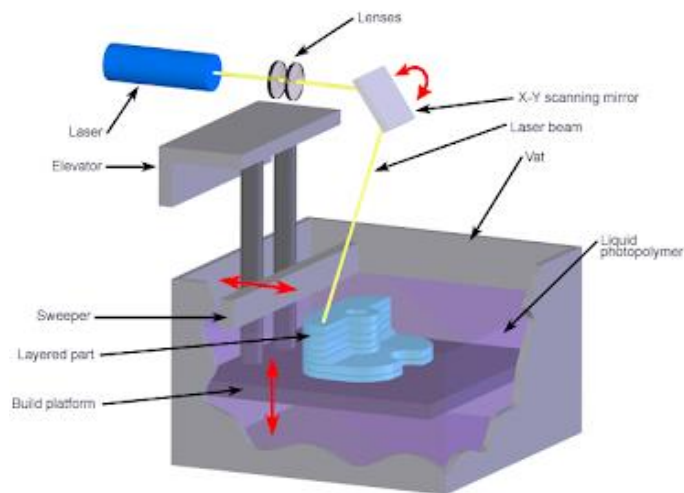


Imagen 11.- Esquema SLA
Fuente: (Juárez Jiménez, 2018).

Fotopolimerización ultravioleta (DLP)

Esta técnica se enfoca en la solidificación de resina fotosensible por medio de irradiación ultravioleta a gran velocidad sobre el diseño establecido. Este proceso se realiza con un proyector que diseña las capas de la pieza donde se coloca la resina para ser polimerizada. Cuando se finaliza la placa de trabajo se mueve de forma transversal para proceder con la polimerización de la capa siguiente (Juárez Jiménez, 2018).

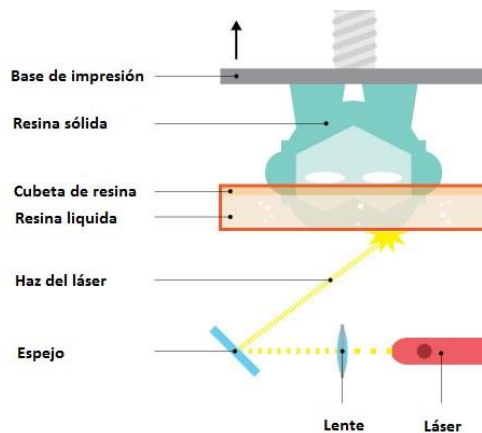


Imagen 12.- Esquema Fotopolimerización ultravioleta (DLP)
Fuente: (Juárez Jiménez, 2018).

Materiales de fabricación

Como se menciona en la investigación realizada en la universidad de Madrid por (Juárez Jiménez 2018), los distintos componentes empleados en la fabricación de los dispositivos microfluídicos están clasificados en inorgánicos, poliméricos y papel.

Los materiales inorgánicos como el silicio, vidrio o cerámica son utilizados por sus propiedades físicas de resistencia frente los compuestos orgánicos, compatibilidad con los metales y el flujo electroosmótica estable, como también se destaca en su alta conductividad térmica, compatibilidad con muestras biológicas (Juárez Jiménez, 2018).

De igual forma los materiales poliméricos son los más utilizados en la fabricación de dispositivos microfluídicos por su bajo costo y su fácil acceso entre los más utilizados tenemos los elastómeros, polímeros termoestables y polímeros termoplásticos. Finalmente tenemos como material el papel el cual es un material flexible a base de celulosa el cual tiene como características que es un material biocompatible, es barato, se puede modificar químicamente de manera fácil, se obtiene en cualquier lugar del mundo y se puede eliminar de manera natural, pero es limitado en su aplicación por sus malas propiedades mecánicas (Juárez Jiménez, 2018).

ÁREA DE ESTUDIO.

Tabla 4: Área de estudio

Área de estudio	Delimitación del objetivo del estudio
Dominio	Tecnología y sociedad
Línea de investigación	Sistemas Industriales
Campo	Ingeniería Industrial
Área	Diseño, Simulación y producción
Aspecto	Investigación de nuevos sistemas microfluídicas para mezclar líquidos, en los laboratorios de la Universidad Tecnológica Indoamérica

Objetivos	Diseñar un mezclador microfluídico en los laboratorios de ciencias básicas.
Periodo de análisis	Abril del 2022 – Agosto del 2022

Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)

MODELO OPERATIVO.

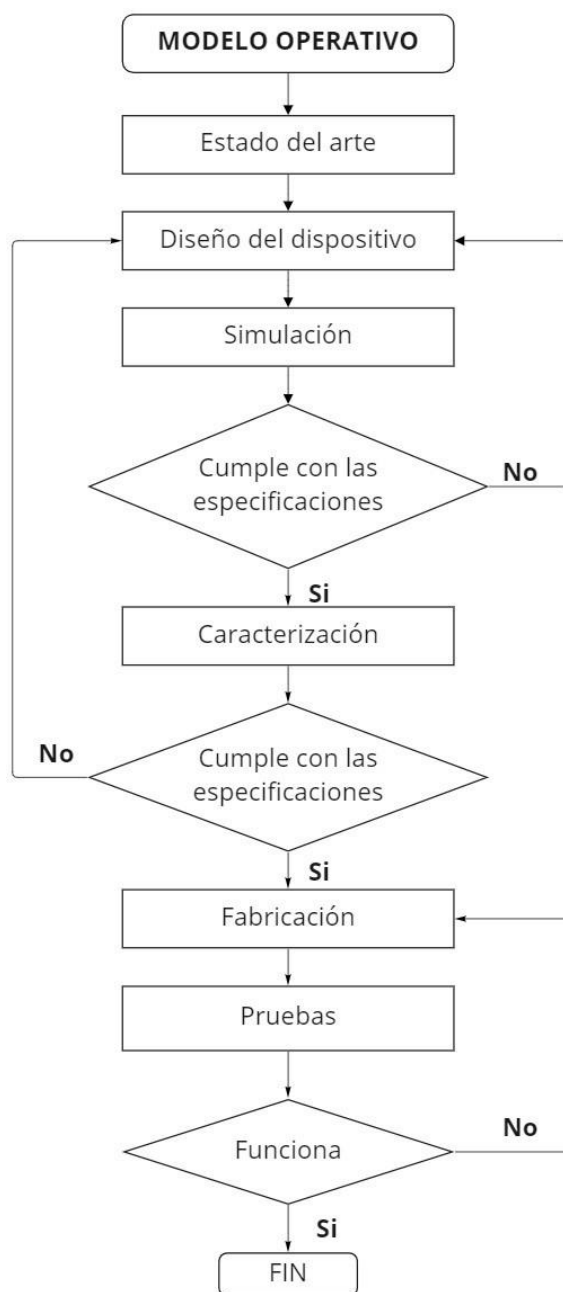


Grafico 9.- Diagrama del modelo operativo
Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)

DESARROLLO DEL MODELO OPERATIVO.

Revisión del estado del arte

Se acudió a las diferentes fuentes bibliográficas de estudios de sistemas microfluídicos como son artículos científicos, repositorios universitarios y buscadores tecnológicos, en los cuales se evidencio que no existen muchos estudios referentes en el país, se buscó tipos de diseños y los materiales con los que se trabajan (acrílico, vidrio, papel, entre otros) de igual manera la maquinaria, herramientas y softwares de simulación multi física.

Diseño del dispositivo

Para la realización de las pruebas de simulación de los sistemas microfluídicos se desarrolló utilizando el software SolidWords el cual nos permite desarrollar un prototipo CAD 3D en computadora para modelar piezas y con el software Ansys simular el funcionamiento de las mismas y de esta forma disminuir el margen de error en la implementación del mezclador microfluídico.

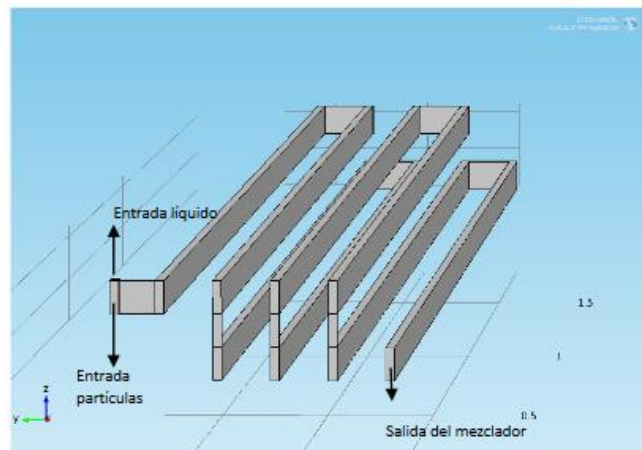


Imagen 13.- Diseño de mezclador con subniveles
Fuente: (Acevedo 2012)

Simulación.

Con la ayuda del software Solidworks 2018 para realizar la simulación del comportamiento de los fluidos en la geometría de los canales diseñados, ocupando distintas presiones. para obtener la velocidad adecuada que se necesita para que los

líquidos (agua y aceites biodegradables) empleados en las pruebas se puedan unir de manera uniforme y a su vez se pueda obtener una generación de gotas.

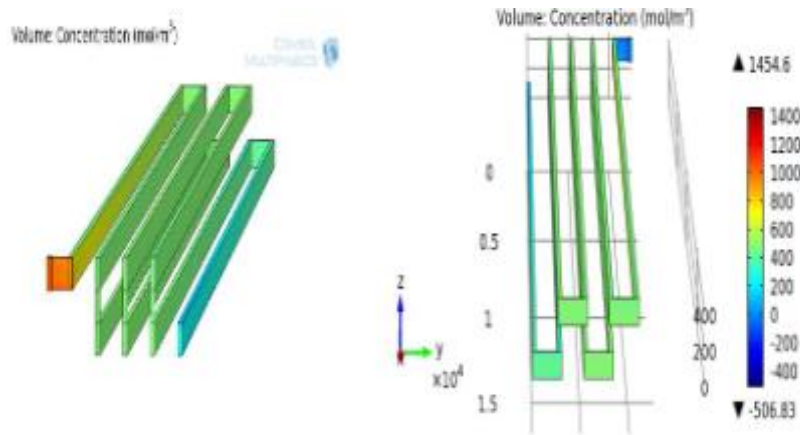


Imagen 14: Simulación del comportamiento de los fluidos
Fuente: (Acevedo 2012)

Fabricación del prototipo

El prototipo será desarrollado con las tecnologías CAD/CAM las cuales mediante el software SolidWords se diseñará el prototipo del mezclador microfluídico y mediante las herramientas de corte a láser y una máquina CNC de 3 ejes se procederá a su fabricación.



Imagen 15.- Fabricación en acrílico
Fuente:(Oliva Rojas 2018)

Caracterización

Se describió tanto el diseño como el proceso de fabricación donde se tomó en cuenta desde la obtención de los materiales herramientas y equipos necesarios para la fabricación del dispositivo, de igual manera revisando la bibliografía los parámetros necesarios para el diseño de los canales y las características físicas, químicas mínimas que se necesita para que se dé la mezcla y generación de gotas en nuestro dispositivo.

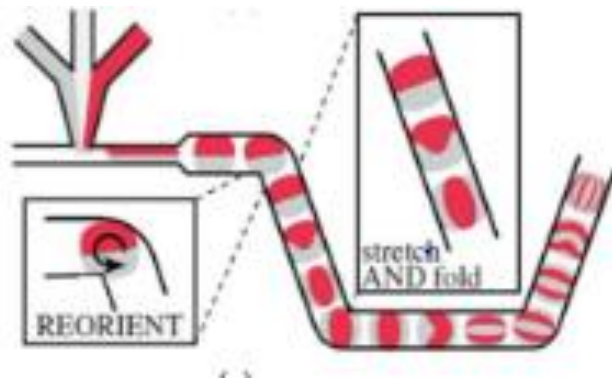


Imagen 16 .- Rozamiento de las gotas en los canales
Fuente:(Ortíz Colmenares 2020)

Pruebas

Con los dispositivos una vez fabricados se realizaron pruebas de unión entre dos placas de acrílico, de igual manera se hizo con un molde hecho en PDMS para unirlo con el vidrio. Para las pruebas de funcionamiento se ocuparon líquidos de diferentes densidades como es el caso del agua mezclada con tinta y aceites biodegradables.

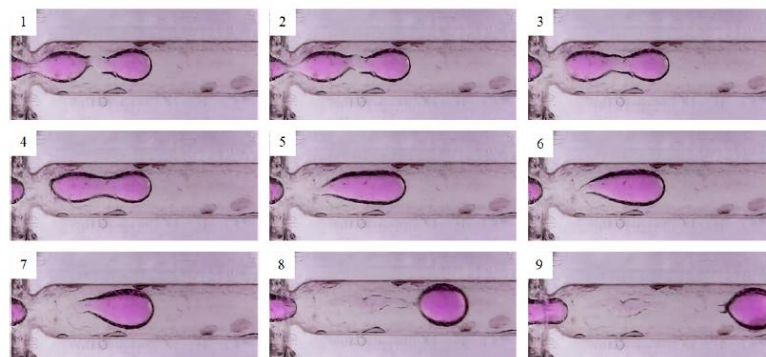


Imagen 17.- Formación de gotas.
Fuente: (Oliva Rojas 2018)

ELABORACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE LA CASA DE LA CALIDAD

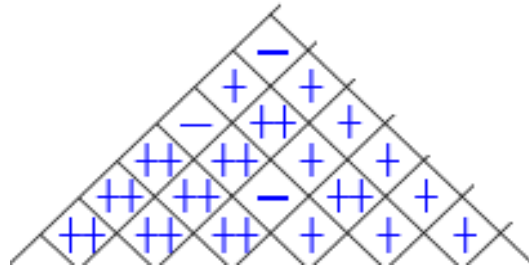
QFD

Esta herramienta es un sistema que nos permite de manera organizada realizar fabricación de un producto con esto nos referimos a la casa de la calidad o QFD, asegurándonos que nuestro producto va responder con las necesidades del cliente y la reducción del tiempo de fabricación del producto hasta que se ponga en venta (Cintas, Llabres 1995).

En este estudio de la casa de la calidad para la fabricación de un mezclador microfluídico se tomó los requerimientos de los usuarios (ver imagen 18); como es el caso del bajo costo, permitiendo que sea factible la fabricación de estos dispositivos en nuestro medio s, siendo más económicos con respecto a los dispositivos que se encuentran en el mercado; fácil limpieza, que se pueda realizar de forma rápida y efectiva sin ocupar materiales y equipos costosos que dificulten el mantenimiento de estos dispositivos; fácil de transportar, que resulte fácil el traslado para los usuarios de estos dispositivos a diferentes partes del laboratorio que se requiera hacer los experimentos; que sea resistente, de acuerdo a los estudios de las características de estos sistemas se diseñará para que cumplan los requerimientos necesarios.

Tomando en cuenta los requerimientos de los usuarios y los requisitos técnicos para la fabricación de estos dispositivos microfluídicos, donde la utilización de materiales de calidad, el diseño y el sellado de los canales, tienen una puntuación de (23.3;16.3 y14.5) respectivamente indicándonos que para nuestros usuarios estas tres características técnicas son fundamentales que debe tener nuestro producto y debemos prestarle mayor importancia para la elaboración de nuestro diseño.

Legend		
⊙	Strong Relationship	9
○	Moderate Relationship	3
▲	Weak Relationship	1
+++	Strong Positive Correlation	
+	Positive Correlation	
-	Negative Correlation	
▼	Strong Negative Correlation	
▼	Objective Is To Minimize	
▲	Objective Is To Maximize	
X	Objective Is To Hit Target	



Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	Column #						
					1	2	3	4	5	6	7
				Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirement s" or "Whats")	Maquinaria y equipos	Materiales de calidad	Metodos de fabricaci3n	Dise1o de geometrias	Tipos de reactivos a utilizar	Sellado de los canales	Accesorios
1	9	11.8	20	Bajo costo	⊙	⊙	○	○	▲	○	⊙
2	9	11.8	20	F1cil de limpiar	○	○	▲	⊙	⊙	○	○
3	9	8.8	15	Resistentes	▲	⊙	○	⊙	○	⊙	▲
4	9	11.8	20	F1cil uso	○	▲	▲	○	○	▲	⊙
5	9	5.9	10	Que tengan dos o m1s puertos de entradas	▲	▲	▲	⊙	▲	▲	○
6	9	11.8	20	F1cil de transportar	▲	○	▲	⊙	▲	▲	⊙
7	9	8.8	15	Que se puedan reusar	○	⊙	○	⊙	⊙	○	▲
8	9	14.7	25	Que se pueda observar de manera clara	⊙	⊙	○	⊙	○	⊙	▲
9	9	14.7	25	Una buena mezcla	○	○	⊙	⊙	○	⊙	▲
10											
				Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)							
				Max Relationship Value in Column	9	9	9	9	9	9	9
				Weight / Importance	405.9	529.4	305.9	758.8	364.7	470.6	417.6
				Relative Weight	12.5	16.3	9.4	23.3	11.2	14.5	12.8

Imagen 18.- Casa de la calidad mezclador microfluídico
Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

CAPÍTULO III

PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA.

La presente propuesta basa su enfoque en dar una solución a la problemática de disponer sistemas de microfluídica en el país. Para esto se propone el desarrollo de un dispositivo microfluídico mezclador y generador de gotas. La idea fue utilizar los equipos, herramientas y materiales disponibles en el medio para poder fabricar un dispositivo funcional, y de fácil uso para el usuario final.

Los métodos, técnicas y análisis que se usan en esta propuesta son los usados comúnmente en procesos de microfabricación. La única diferencia radica en el tipo de herramienta utilizada. En lugar de usar técnicas de fotolitografía se usa un CNC (Mecanizado láser o por fresadora), en lugar de usar un perfilómetro se usa un microscopio basado en una cámara similar a la integrada en un Smartphone.

La propuesta incluye el diseño, la simulación, la fabricación, la caracterización y pruebas de los dispositivos. Además, se incluye como propuesta general el uso de estos dispositivos como elementos que pueden ser usados en prácticas de laboratorio del Proyecto Formativo Mecánica de Fluidos.

A continuación, se detalla paso a paso cada fase de trabajo llevada a cabo en esta propuesta, incluyendo los conceptos básicos usados para calcular las geometrías, el comportamiento del fluido, caracterizar el proceso de fabricación y realizar las pruebas de funcionamiento de los dispositivos microfluídicos.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MEZCLADOR MICROFLUÍDICO.

El presente estudio se llevó a cabo en el laboratorio de ciencias básicas de la FITIC donde se realizaron varios montajes para realizar las pruebas con fluidos de diferentes características. Se usó instrumentación de laboratorio como micro pipetas, petras, y soluciones líquidas basadas en tinta a base de agua. Muchas de las caracterizaciones fueron mediante análisis de imagen tomadas con la cámara de un Smartphone. También se usaron protocolos de limpieza y puesta a punto de los dispositivos (Pegado, sellado, prueba de fugas, entre otras). Se realizaron caracterizaciones del comportamiento de la superficie del material, de los canales, incluyendo el análisis de hidrofobicidad e hidrofiliidad de las superficies mecanizadas en la herramienta CNC.

Para trabajar con pequeñas escalas con dimensiones de los canales inferiores al milímetro presenta ciertos inconvenientes ya que los líquidos presentan un flujo laminar o turbulento (ver imagen 19), esto puede favorecer o no a la funcionalidad del dispositivo dependiendo la aplicación que se le quiera dar (Carrere, 2017). Se tomó en cuenta en el diseño las características de flujo de los líquidos (Densidad, Viscosidad), para la obtención de una mezcla (Parés Meléndez 2020).

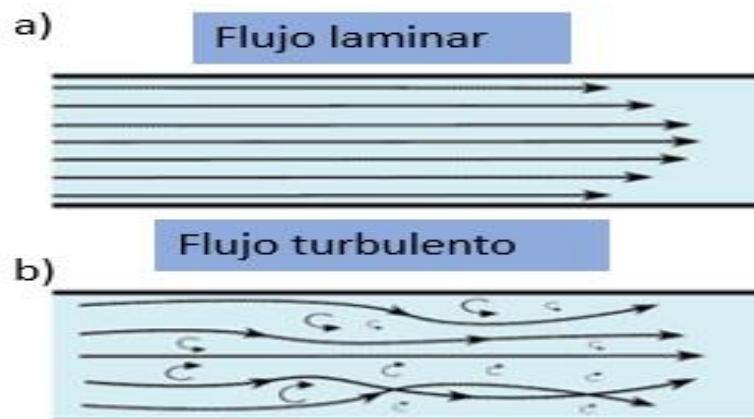


Imagen 19.- Representación del flujo. a) flujo laminar, b) flujo turbulento.
fuentes:(Nguyen, Wereley, Shaegh 2019)

La advección caótica es una de las maneras de obtener una mezcla generando un cambio en el comportamiento del fluido solo con poner obstáculos o serpentines en los diseños de los canales (ver imagen 20), los cuales generan una inestabilidad del

fluido produciendo una mezcla adecuada que solo se da cuando el sistema alcanza un número de Re alto (Nguyen, Wereley, Shaegh 2019).

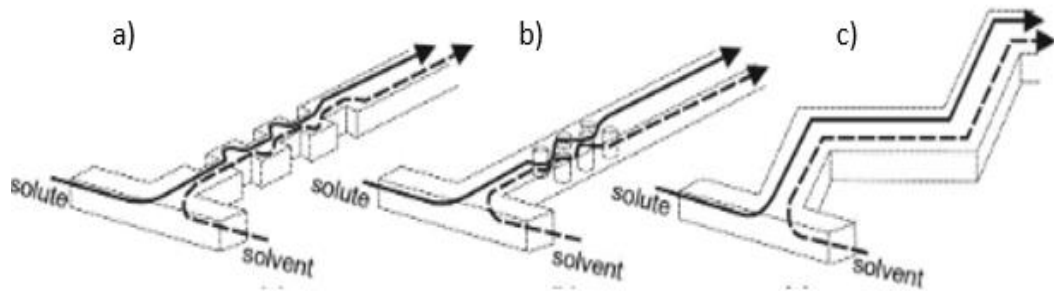


Imagen 20.- Diseños de mezcladores por advección caótica: a) pared con obstáculos, b) obstáculos dentro del canal, c) canales en zigzag.

Fuente: (Nguyen, Wereley, Shaegh 2019)

Tomando en cuenta todas las características que se necesita dentro de los sistemas microfluídicos para poder obtener una mezcla de los fluidos, de igual manera teniendo la influencia de los diseños de los canales se emplearon las siguientes ecuaciones.

Diámetro hidráulico canales cuadrados.

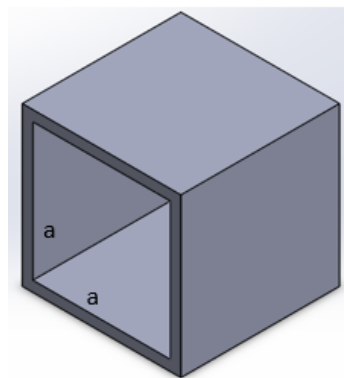


Imagen 21.- Diámetro hidráulico para áreas cuadradas, **Elaborado por:** Santacruz, Christopher (2022)

$$D_h = \frac{4a^2}{4a} = a$$

(Parés Meléndez 2020)

(Ec. 1)

Donde se tiene que D_h ,es el diámetro hidráulico para canales cuadrados, a representa los lados de la geometría.

El número de Reynolds (Re)

Relaciona las fuerzas inerciales y viscosas, de acuerdo a su valor se puede identificar si el fluido es laminar ($Re < 2300$) o turbulento.

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu}$$

(Parés Meléndez 2020)

(Ec. 2)

Donde ρ es la densidad del fluido (kg/m^3), V la velocidad del fluido (m/s), D_h diámetro hidráulico y μ es la viscosidad dinámica ($Pa*s$). Para los fluidos que circulan en canales cuadrados se toma el parámetro D_h viene dado por el diámetro hidráulico (López -Tapia, Adriana Cavada ,2015)

Número de Peclet (Pe)

$$Pe = \frac{v * l}{D}$$

(Parés Meléndez 2020)

(Ec. 3)

Este número nos indica si el fluido es gobernado por la difusión o la convección durante su desplazamiento por los canales del sistema microfluídico (Rubio et al. 2013). Donde (v) es la velocidad del flujo, (l) es la longitud de característica y (D) es la constante de difusión.

Numero capilar

Analiza las dimensiones de las gotas generadas, relacionando el diámetro (D) con la viscosidad (μ), la tensión superficial (γ)y el caudal de la fase continua Q_o . Donde utiliza el D_h diámetro hidráulico para canales cuadrados (Cristini, Tan 2004) .

$$D \approx \frac{\gamma * (D_h)^3}{\mu * Q_o}$$

(Parés Meléndez 2020)

(Ec. 4)

Generación de gotas

Los métodos de generación de gota pueden ser catalogados como activos o pasivos, donde los pasivos toman como característica la diferencia de flujo para poder desestabilizar la tensión superficial de los líquidos empleados y producir la gota. Para los métodos activos necesitan emplear energía externa como eléctrica, térmica y mecánica (Zhu, Wang 2017). Se tomará en cuenta los métodos pasivo de generación de gotas (Coflow, T-Junction, Flow focusing), puesto que son los más utilizados para sustancias acuosas y oleicas (Ortíz Colmenares ,2020).

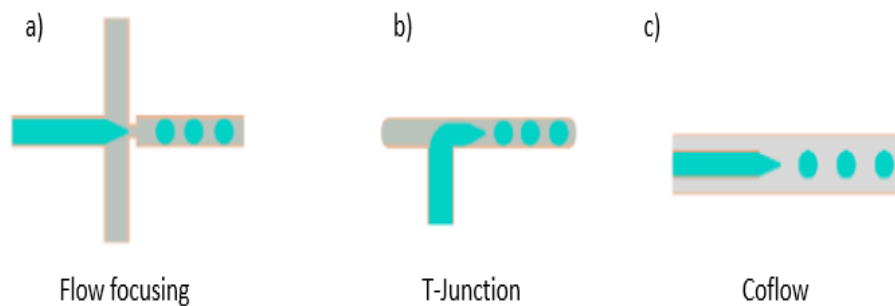


Imagen 22.- Representación de los 3 tipos de formación pasiva de gotas.
Fuente: (Ortíz Colmenares 2020)

Tomando en cuenta los métodos de generación de gotas in vestigios para este trabajo se tomará el método **Flow focusing** la cual se basa en una entrada de fase dispersa F_d que al unirse a las dos salidas de fase continua F_c (ver imagen 23) donde el flujo continuo cambia el flujo al momento de ingresar la fase dispersa, siendo esta última la que da la dirección al fluido. Este método nos permite la obtención de diferentes tamaños de gotas dependiendo el diseño del canal generador de gotas.

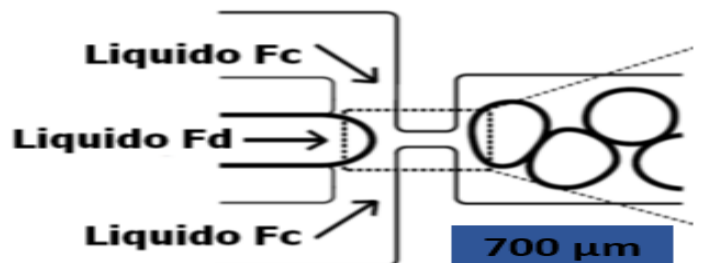


Imagen 23.- Acción de las fases continua F_c y dispersa F_d en la generación de gotas
Fuente: (Zhu, Wang 2017)

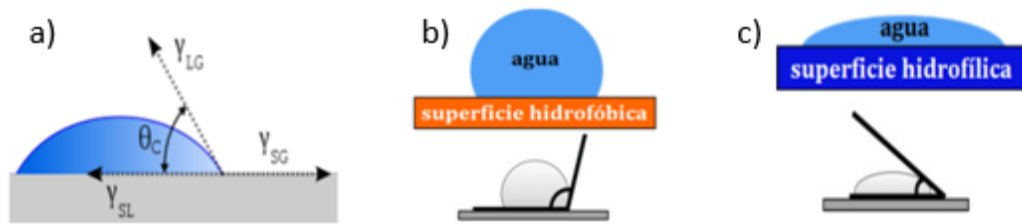


Imagen 24.- Representación de los ángulos hidrofílico
Fuente: (Jiménez 2015)

Comportamiento hidrofílico

Para seleccionar el material se evaluó el comportamiento hidrofílico e hidrofóbico utilizando el método de la gota, la cual se determina por el ángulo de contacto (imagen a), si el ángulo es de 90° o mayor se considera una superficie hidrofóbica quiere decir que el material no se humedece con el agua (imagen b); si el ángulo es menor a 90° , se considera como superficie hidrofílica (imagen c) el material de superficie se humedece con el agua (Cañete, Alonso 2013). Utilizando como superficie una lámina de acrílico 3 mm de espesor. Con la ayuda del programa ImageJ se calculó el ángulo de la muestra de agua (ver imagen 25), en este análisis se tomó como base la superficie del material (Acrílico transparente), y a partir de esta base se trazó el ángulo de la gota captada mediante la cámara de un Smartphone.

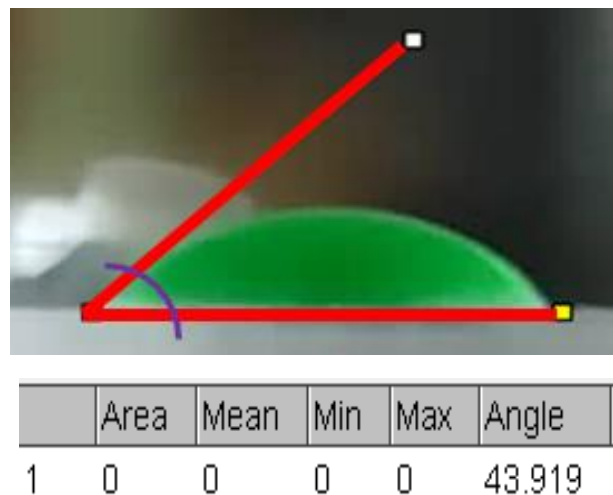


Imagen 25.- Determinación del ángulo de hidrofílico utilizando ImageJ
Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

Al realizar la medición del ángulo en la muestra de agua se obtuvo como resultado un ángulo de 43.9° , que nos indica que nuestro material de superficie utilizado para la fabricación de nuestro dispositivo microfluídico tiene característica hidrofílica. Esto quiere decir que al momento de circulación de líquidos el canal presentará poca resistencia al paso del líquido, además que facilitará el flujo, por tanto, no se requerirá inducir presiones para poder tener el líquido circulante en el interior del dispositivo.

DISEÑO DEL DISPOSITIVO

Modelo 1

Mediante el uso del software SolidWorks 2018 se diseñó la primera versión del dispositivo. Este primer dispositivo microfluídico consta de dos puertos de entrada y un puerto de salida, una adaptación de canal que permite la generación de gotas, un área que se usa como punto de evaluación de la mezcla y canales principales de 1 mm de diámetro.

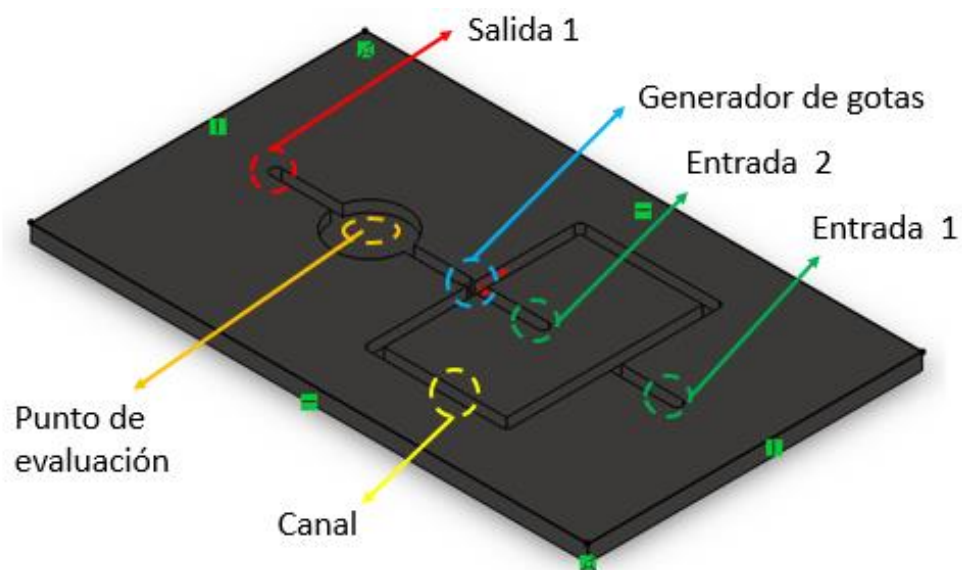


Imagen 26.- Primera versión, componentes del diseño

Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

La dimensión de esta primera versión de dispositivo se puede apreciar en la imagen 27. Los canales principales de 1 mm de diámetro, un generador de gotas de 0.75

mm. De los dos puertos de entrada el primer puerto dispone de un vástago de 6 mm de longitud al rectángulo que forma el canal que tiene una dimensión de 13*19.6* mm por lado respectivamente. La entrada 2 que se encuentra en el interior del rectángulo dispone o se conecta con un vástago de 6 mm de longitud hacia el mismo. En la unión del canal del rectángulo en la entrada 2 se encuentra el generador de gotas que tiene 0.6 *0.32 mm, un canal de recorrido de la gota de 5.25 mm de longitud hacia el punto de evaluación de las muestras que tiene un diámetro de 6.6 mm. Con las dimensiones mencionadas el tamaño total del diseño es de 36*19.6 mm de longitud, el mismo que se mecaniza en una base de acrílico de 50*30 mm por lado respectivamente ver anexo 14.

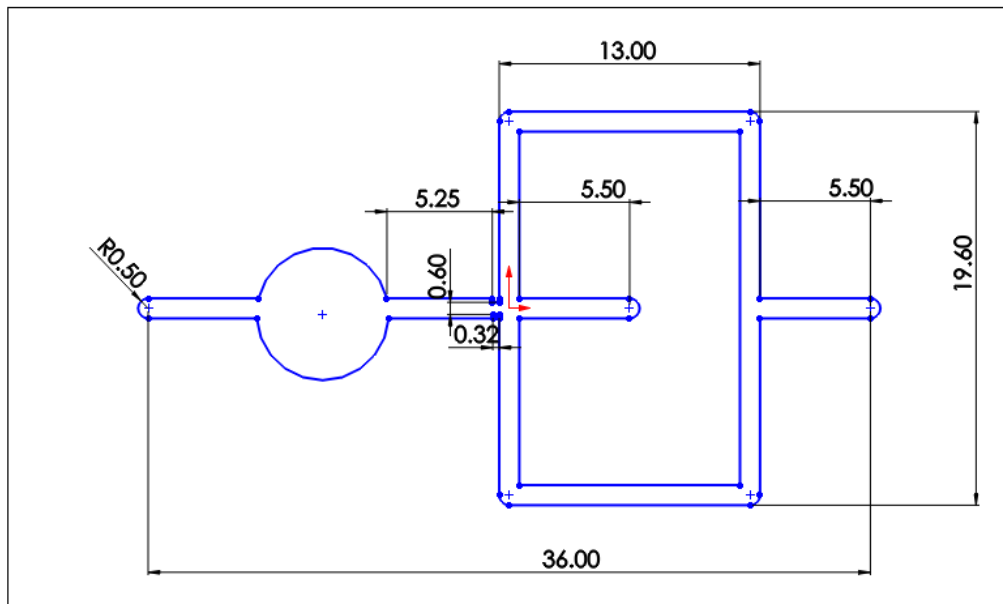


Imagen 27.- Plano de la versión 1
Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)

En la segunda versión del dispositivo fue propuesta para ser usada como molde debido a que tiene los canales sobresalientes de la base. Se cambió el vástago de la entrada 2 por un serpentín que tiene una separación de 2 mm y manteniendo el mismo diámetro del canal, el generador de gotas se modificó además cuenta con dos entradas y una salida.

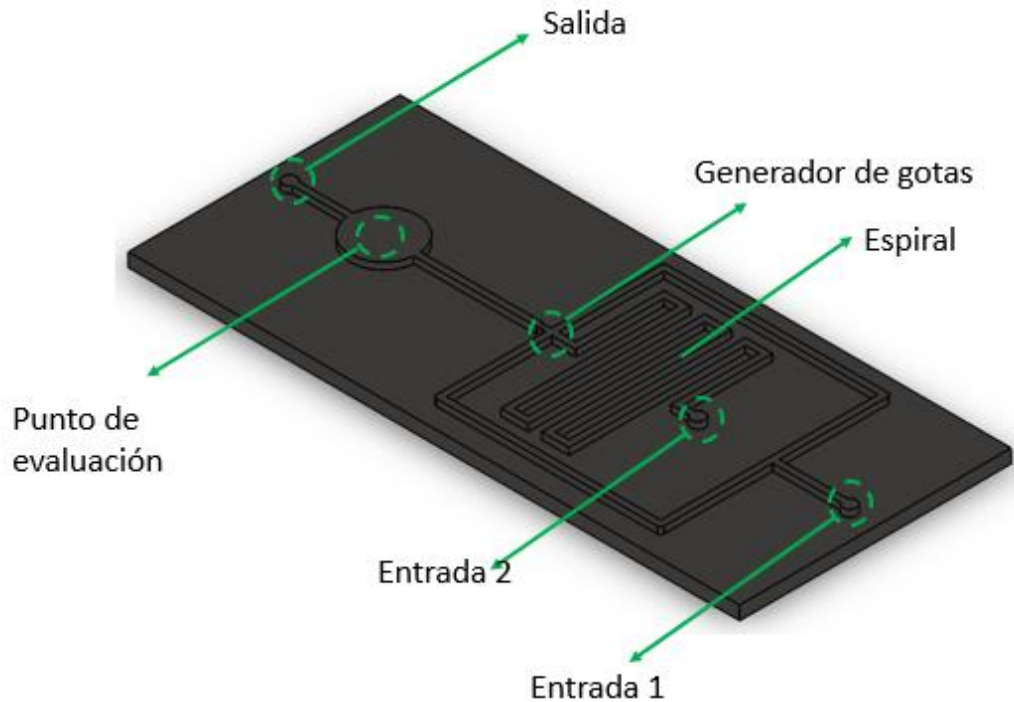


Imagen 28.- Segunda versión, características
Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)

La entrada 1 tiene un vástago de 10 mm de longitud hasta el rectángulo del canal principal de 32.5*33 mm, que en su interior se encuentra un espiral de 20.13*27 mm de longitud desde la entrada 2 hasta la unión con el rectángulo principal. El generador de gotas tiene como dimensiones 0.7*0.7 mm y un canal de 18 mm de longitud hasta el punto de evaluación que tiene un diámetro de 10 mm, en las entrada y salida se amplió el diámetro a 2 mm para insertar una boquilla por donde ingresara el líquido. Teniendo una medida total del diseño de 82.48*33 mm de longitud (ver imagen 29).

Se utilizó estas dimensiones para una mejor apreciación de los fluidos, la aplicación de la espiral se tomó en cuenta para que los líquidos tengan la misma distancia de recorrido. De la misma forma al generador de gotas se le dio una forma cónica en la entrada para que sea más fácil la generación de las gotas, la medida que se le dio al canal de salida de la gota es para obtener una mejor apreciación de las características de las gotas y como se van formando ver anexo 15 para más detalle del diseño.

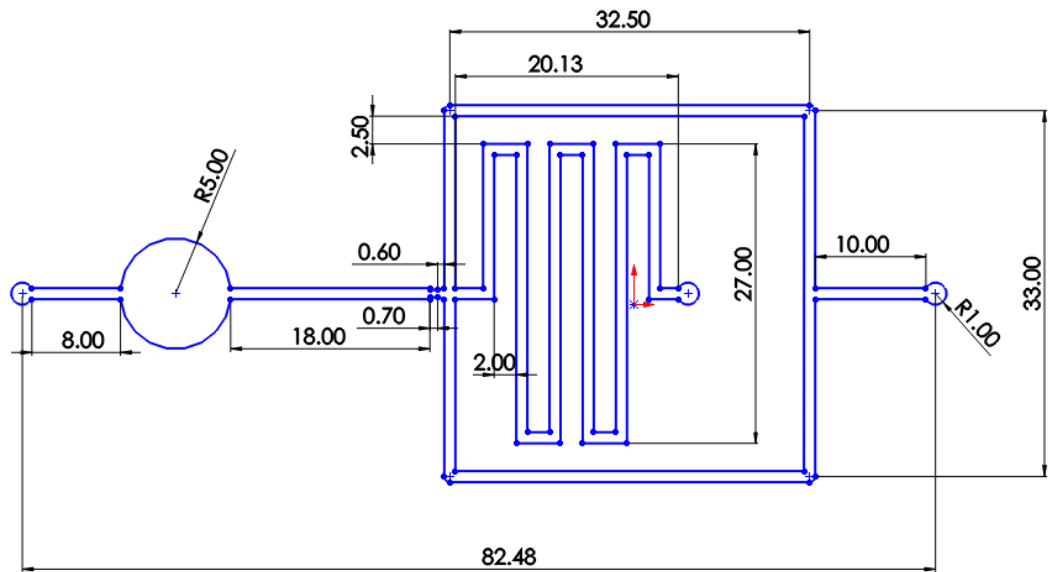


Imagen 29.- versión 2, plano a detalle
Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

En esta última versión se mantienen las mismas dimensiones de la versión 2, únicamente se aumentó las perforaciones que permitirán unir las dos placas mecanizadas de acrílico con tornillos M3 (ver imagen 30). Estas perforaciones permiten dar mayor fijación a la unión de placas o cierre de canales. Esta fijación es efectiva siempre y cuando haya un medio de adhesión entre placas, caso contrario se filtra el líquido por la falta de sellado entre placas.

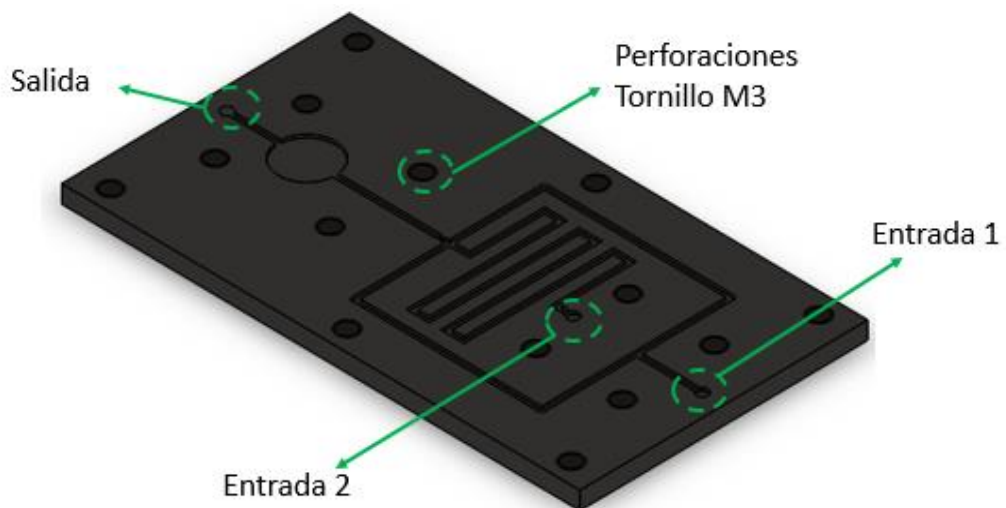


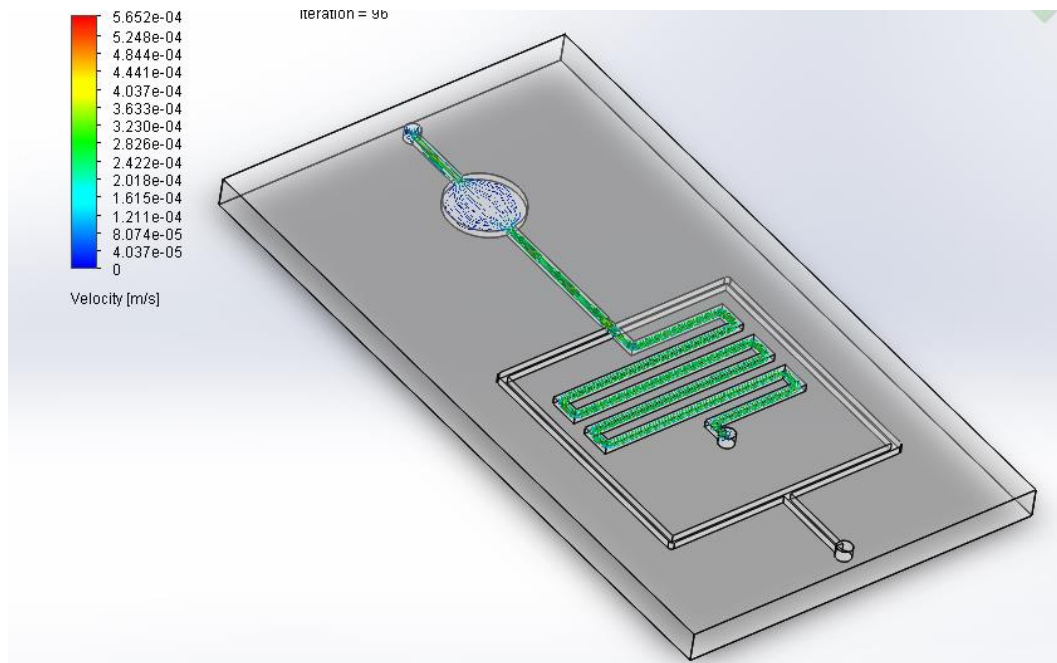
Imagen 30.- Versión final
Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

SIMULACIÓN FLUÍDICA

Para la simulación del mezclador microfluídico se realizó utilizando el software Solidworks 2018, utilizando la opción Flow Simulation – FlowSpress. La cual nos permitirá analizar el comportamiento del fluido y la funcionalidad del diseño (ver imagen 31).

Para realizar esta simulación se siguió los siguientes pasos para obtener los resultados:

- Generar el archivo en Solidworks 2018
- Generar el análisis con FlowSpress con el software Solidworks 2018
- Crear el dominio de la superficie entrada y salida del fluido.
- Selección de las condiciones de entrada y salida del fluido, de igual forma el tipo de fluido, temperatura y otras condiciones de simulación.
- Iniciar la resolución de la simulación



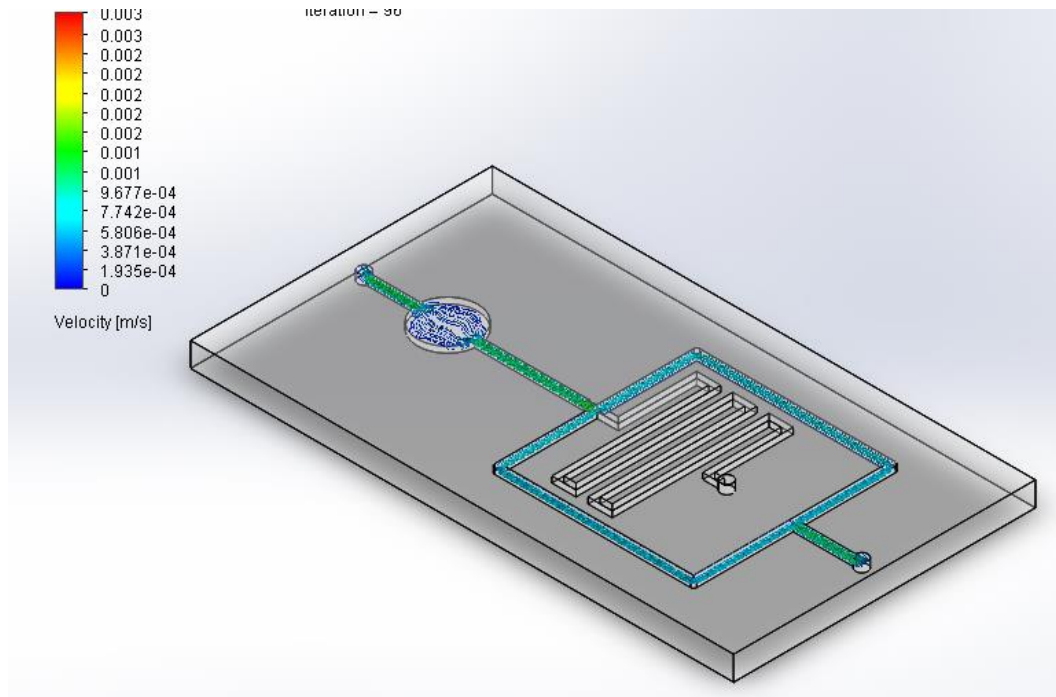


Imagen 31.- Simulación fluídica en el modelo 1
Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)

Para la realización de esta simulación se tomó una presión de 5 Pa para el límite de entrada, y una presión de salida del sistema de 3 Pa. Se tomó como consideración una temperatura ambiente de 20 °C (293.20 K), donde se puede observar una velocidad máxima y mínima del fluido analizar según el eje Y, para la entrada 1 y 2 tenemos 0.003 m/s y 5.678e-04 m/s respectivamente. Con estos datos obtenidos tenemos una idea del comportamiento que nuestro diseño va a presentar cuando esté en funcionamiento, de la misma forma podemos darnos cuenta en las partes donde se puede mejorar el diseño brindándole mejores ventajas al fluídico y la eficiencia de nuestro diseño.

Modelo 2

La primera versión de este diseño cuenta con dos entradas que al unirse los canales forman una (Y) donde convergen las dos muestras de los líquidos, consta de un espiral que ayudará con la mezcla de las muestras. Un generador de gotas de 0.5mm y un puerto de salida, todo el diseño tiene canales de 1mm de diametro.

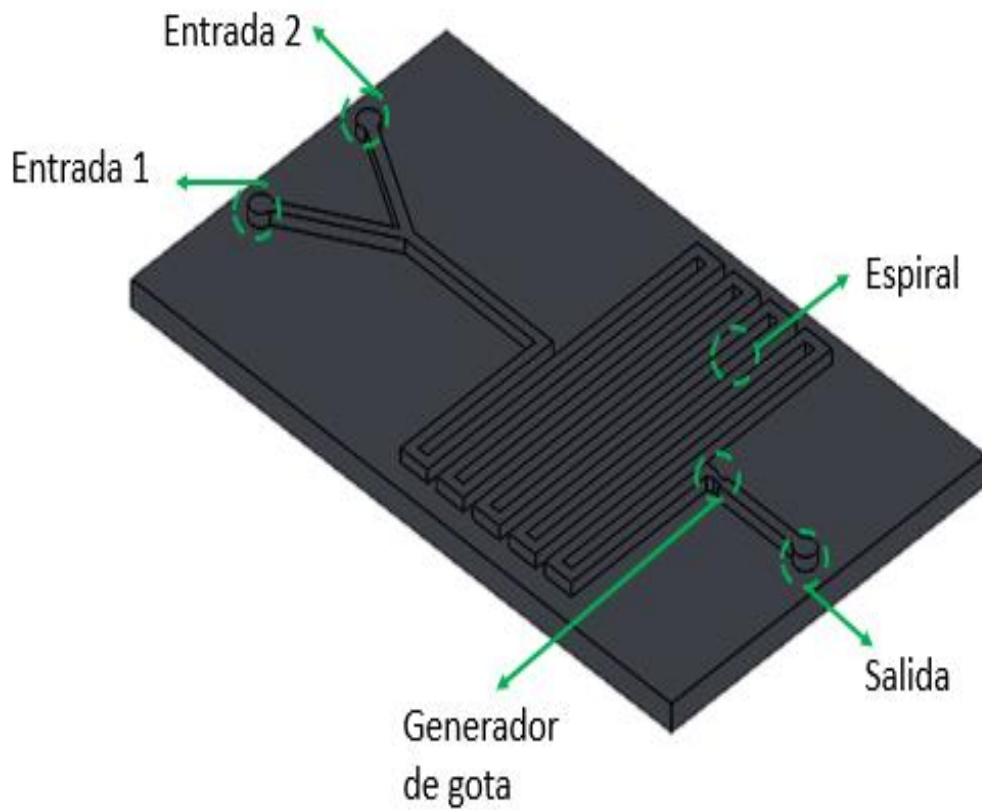


Imagen 32.- Versión 1, detalles de componentes
Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

Como se muestra en la imagen 33, los vástagos de las entradas 1 y 2 tienen 10.3 mm de longitud y formando un ángulo de 60°, desde el punto de unión de los vástagos de las entradas hasta donde empieza el espiral hay un canal de 15.5mm. Las dimensiones del espiral son de 17 * 31 mm de longitud y tiene una separación de 1mm entre los canales, al final del espiral se encuentra el generador de gotas de 0.5* 0.7mm, dejando un canal de 11.5 mm de longitud hacia el puerto de salida. Las dimensiones totales de son de 54.78*31 mm y todo el diseño se encuentra sobresalido de la base con un espesor de 1mm.

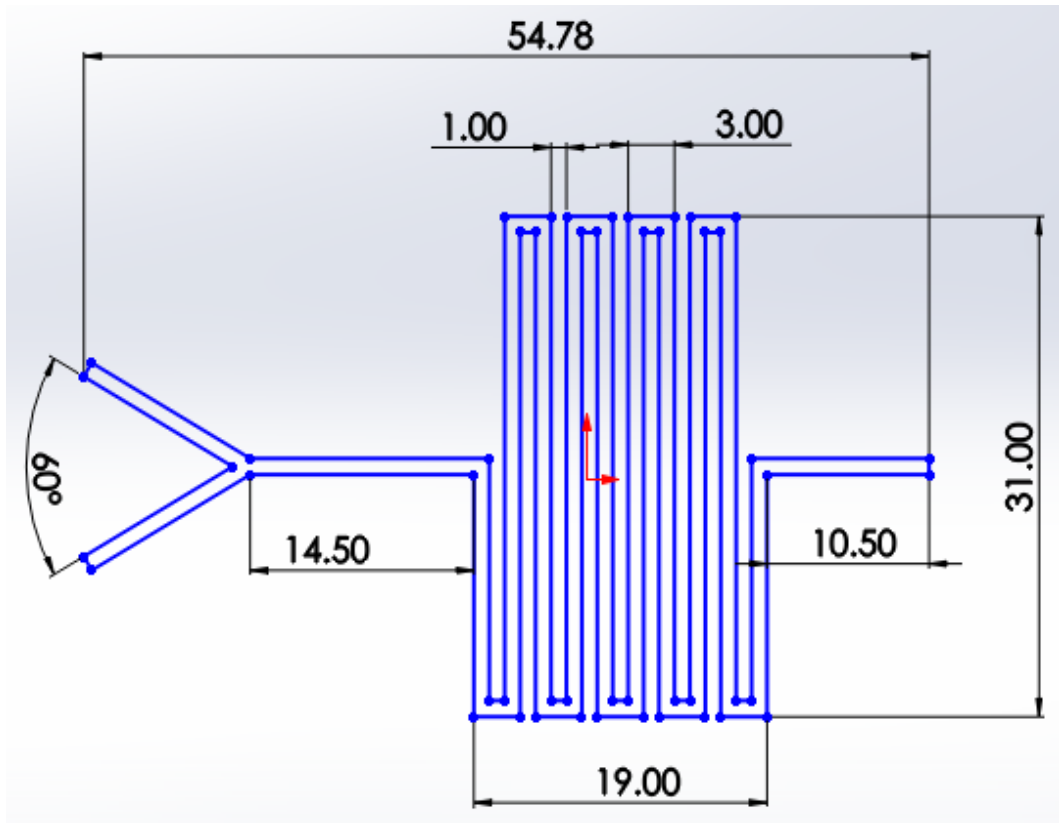


Imagen 33.- Planos de la primera versión
Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

En la segunda versión se hizo cambios el vastago de unión de las dos entradas de las muestras, se mantuvo el mismo espiral y sus dimensiones, también se modificó el generador de gotas a 0.7 mm y se mejoró el canal que va desde el generador de gotas hasta el puerto de salida ver anexo 12 para mallorws detalles .

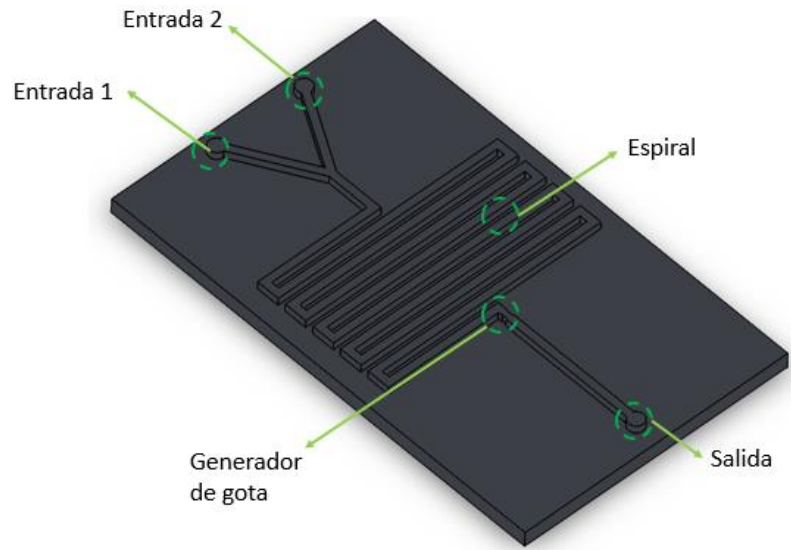


Imagen 34.- Modelo 2, versión 2 componentes
Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)

Las dimensiones de este modelo se muestran en la imagen 35, se realizaron dos cambios en el vástago de la unión de las dos entradas, dicho vástago llega hasta el inicio del espiral con una longitud de 6.5 mm, con un generador de gota al final del espiral de 0.7 mm dejando un canal de recorrido de la gota de 20.5 mm hasta el puerto de salida ver anexo 13 para ams detalles.

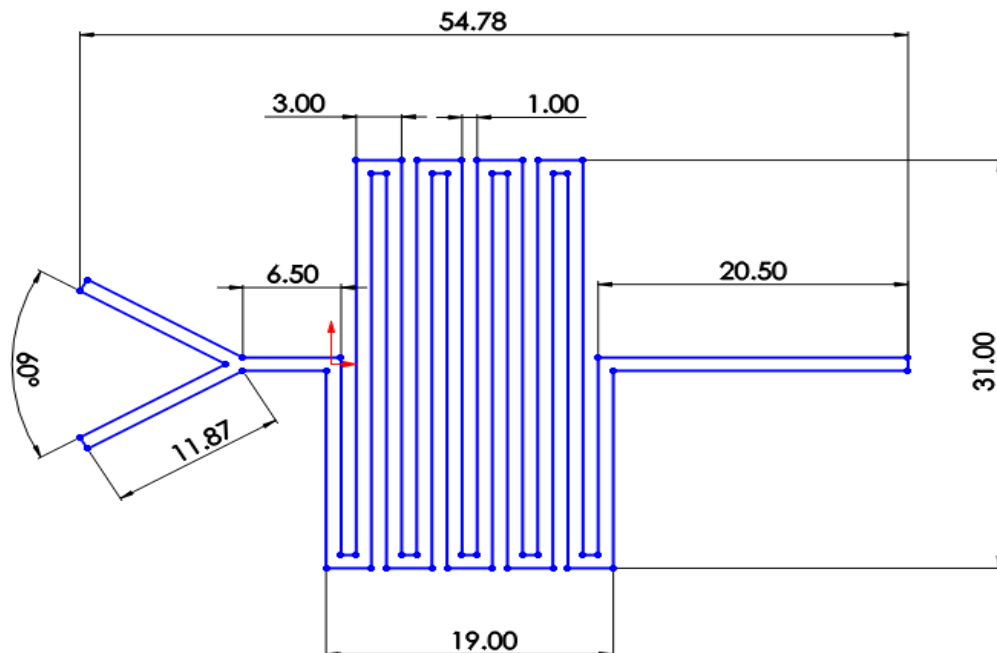
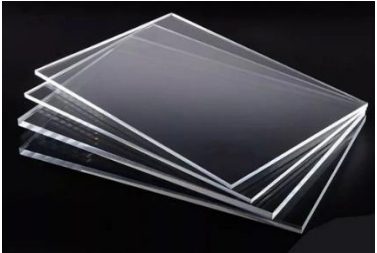
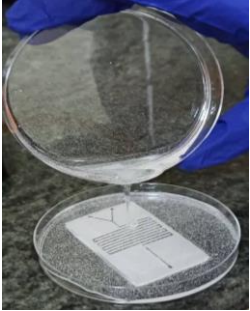


Imagen 35.- Plano de la versión dos
Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)

FABRICACIÓN DEL DISPOSITIVO

El proceso de fabricación constituye la obtención un prototipo de cada dispositivo, para este propósito se utilizaron materiales como el acrílico transparente y un elastómero transparente polydimethylsiloxane (PDMS). Estos materiales son los comúnmente usados en la fabricación de dispositivos microfluídicos.

Tabla 5: Característica de materiales

ACRÍLICO		
Propiedades químicas	Propiedades físicas	
Resistencia a la mayoría de los productos químicos: bases, ácidos, amonico y hidrocarburos alifáticos	<ul style="list-style-type: none"> • Transmisión de la luz del 92-95%. • Larga vida útil. • Resistencia al medio ambiente y a la degradación por rayos ultravioleta. 	
PDMS		
Propiedades		
<p>Polímero sintético, Es un material transparente caracterizado por su buena estabilidad térmica y oxidativa, alta permeabilidad a gases, hidrofobicidad y ser un excelente dieléctrico.</p>		

Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

Fabricación por láser

Las técnicas de grabado por láser resultan efectivas en estos procesos de fabricación, sea por su precisión y rapidez de fabricación. Los dispositivos Modelo 1 y 2 fueron fabricados mediante esta técnica de grabado por láser. Estos dispositivos están pensados para ser usados como estructura master o moldes. Para este propósito se empleó acrílico transparente de 3 mm de espesor como material base. Para mecanizar el material se consideraron las siguientes características del equipo.

Tabla 6: Mecanizado laser

Características de mecanizado	Equipo
Potencia de láser: 80w Tipo de láser: C02 Velocidad máxima: 700 mm/seg Software diseño: Adobe ilustrator, Corel DRAW, Inscap.	

Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

Las configuraciones que se muestran en la tabla 6 se fijaron tras realizar varias pruebas de fabricación, además de analizar el terminado de los dispositivos. Se analizó la rugosidad, la precisión de réplica de los diseños en el material acrílico, también se evaluó la forma de los canales según la potencia suministrada por el láser. Una vez encontrado un punto de equilibrio entre velocidad de fabricación y acabado del dispositivo se fijaron los valores y se usó para obtener nuevos dispositivos en sus diferentes versiones.

Análisis de rugosidad

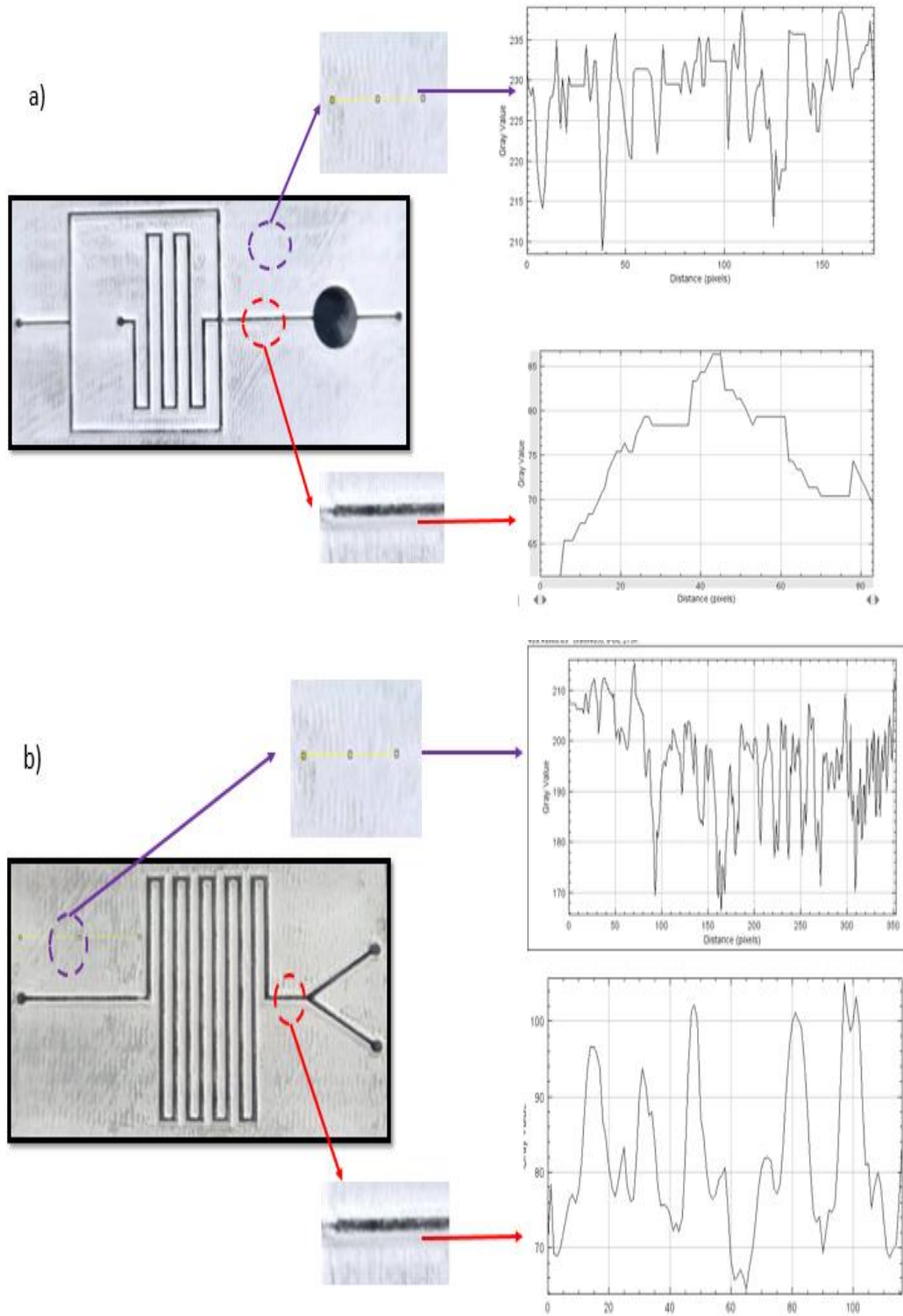


Imagen 36.- Análisis de rugosidad de la superficie de los canales a) modelo 1, b) modelo dos


Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

Se observa las imperfecciones de la superficie de los moldes a, b utilizando análisis de imagen con una resolución de 8 bit a 275 K, esta rugosidad que se indica de color morado en la imagen 36, puede afectar al momento de fabricar el molde utilizando PDMS debido a que se marcaran pequeños canales producto del mecanizado, lo cual va hacer que se dificulte al adherir del molde a una base de vidrio permitiendo que el dispositivo tenga fugas al momento de aplicar los líquidos de análisis. Se analizó también el canal del molde siendo la parte crítica debido a que su rugosidad influye en el desplazamiento del líquido ayudando a que se produzca una mejor mezcla.

Fabricación con fresadora

Una vez hecho el diseño de obtuvieron los planos modelo 1 (ver imagen 30), el material utilizado es acrílico transparente de 3 mm de espesor. Para el mecanizado de empleo una fresadora de tres ejes universal en la siguiente tabla se describen las características de la máquina, herramientas y datos de mecanizado con los que se trabajó.

Tabla 7: Características de mecanizado por Fresadora

Características de mecanizado	Equipo
<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje : 110 V • Velocidad de trabajo: 600 mm/min • Herramientas: fresas de 0.1mm, 1mm, 0.5mm, 1.6mm y 3mm. • Tiempo de mecanizado: 1 hora 30 minutos 	<div style="text-align: center;">  <p>Fresadora tres ejes CNC</p> </div>

Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

Los datos que se muestran en la tabla 7 se fueron adaptando y mejorando de acuerdo al equipo que se empleo, tomando en cuenta las distintas fabricaciones hasta llegar a obtener una velocidad de maquinado adecuada para evitar que el material utilizado para replicar los diseños no tenga fractura presentando dificultades al momento de realizar las pruebas con los líquidos.

Programación CNC

Código G

Es un lenguaje de programación alfanumérico vectorial que nos permite programar las acciones y parámetros de maquinado como (velocidad y avance de la herramienta) teniendo en cuenta los diferentes tipos de ejes (X,Y,Z), mediante instrucciones generales y miscelaneas(Felipe Díaz del Castillo Rodríguez. 2008). Una vez teniendo en cuenta las características y códigos más utilizados dentro la programación de máquinas y equipos CNC, se hizo la programación del código(G) para el modelo 1 de la versión final, teniendo en cuenta las dimensiones de los canales y las herramientas a utilizar.

```
G21  
G90  
M3 S1000  
G1 Z3.810 F228.6  
G0 X17.666 Y24.854  
G1 Z-0.500 F600.0  
G1 X17.731 Y24.950 F600.0  
G1 X17.603 Y25.052 F600.0  
G1 X17.519 Y24.972 F600.0
```

Imagen 37.- Programación G, ingreso de códigos
Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)

Una vez realizada la programación tenemos para la parte inicial del trabajo la primera línea del código nos indica (**G21**), que se refiere a la entrada de datos en milímetro (mm); (**G90**) nos indica las coordenadas absolutas; (**M3**) nos indica que el encendido del husillo de forma horaria y S1 velocidad de rotación del husillo; (**G1**) nos marca el avance de la maquinaria de forma lineal en el eje **Z** y con una velocidad de avance **F** de 228.6; (**G0**) nos indica un avance rápido del posicionamiento de la herramienta en el eje X y Y.

```
G21
G90
G1 Z3.810 F600.0
G0 X0.000 Y0.000
G4 P0.1
M5
```

Imagen 38: Códigos para finalizar la programación
Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)

Para finalizar con la programación se tiene la siguiente codificación (**G21**) nos indica la entrada de datos en milímetros; (**G90**) nos indica las coordenadas absolutas; (**G1**) el avance de la maquinaria de forma lineal en el eje **Z** = 3.810 a una velocidad de **F**=600; **G0** nos da un avance rápido de posicionamiento en el eje **X** y **Y** de 0 mm; (**G4**) detiene el proceso de corte y **M5** apaga el husillo. Para revisar de forma más detallada toda la programación para la realización del mecanizado con todas las tareas programadas revisar el anexo 12.

Análisis de rugosidad

Se realizó el análisis por imagen del dispositivo fabricado con una resolución de 8 bit a 275K, se tomó como muestra de estudio el canal y el depósito por donde circulará el fluido de estudio. Se puede ver en la imagen 39 de color rojo la parte del canal tomado para el análisis mostrando que los picos de la rugosidad son más bajos y no están muy separados entre sí, en comparación con el análisis de rugosidad del láser dejando una superficie menos rugosa pero que de igual manera nos sirve para las pruebas que se van a llevar a cabo para este estudio.

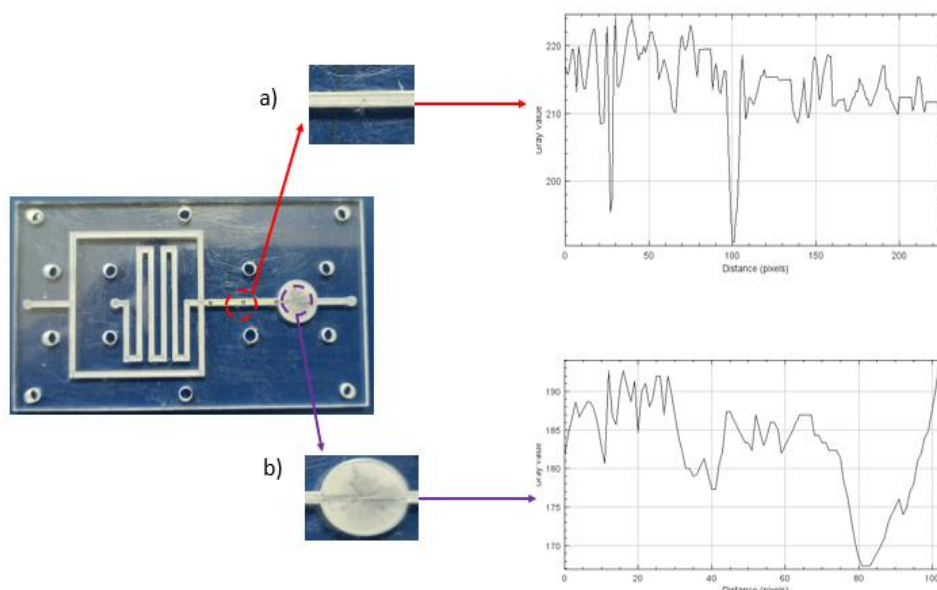


Imagen 39.- Graficas de rugosidad del área de los canales mecanizados por fresadora
Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

Réplica de los moldes utilizando elastómero PDMS

Tabla 8: Preparación del PDMS

Pasos	Detalle
1	Se lava con jabón y agua el molde fabricado en acrílico, se debe secar bien debido que al momento de verter el PDMS no se curará bien, para esta prueba se utilizó un secador de manos durante un tiempo aproximado entre 2.37 y 3.41 minutos. (Grafico a)
2	Para realizar la mezcla se utilizó 25 ml ³ de PDMS (Silicone Elastomer) y 2.5 ml ³ de curante, para medir los volúmenes se utilizó una balanza digital. (Grafico b)
3	Se mezclaron los dos componentes en un recipiente hasta obtener una mezcla homogénea. (Grafico c)
4	Una vez limpio el molde se coló dentro de un petre y se vierte la mezcla hasta que cubra el molde. (Grafico d)
5	El proceso de curado o de solidificación de la mezcla una vez puesta en el molde fue de (48 h) a 12°C. (Grafico e)
6	Después se retira utilizando pinzas para evitar contaminar el molde y se procedió a colocarlo en recipiente cerrado. (Grafico f-g)

Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

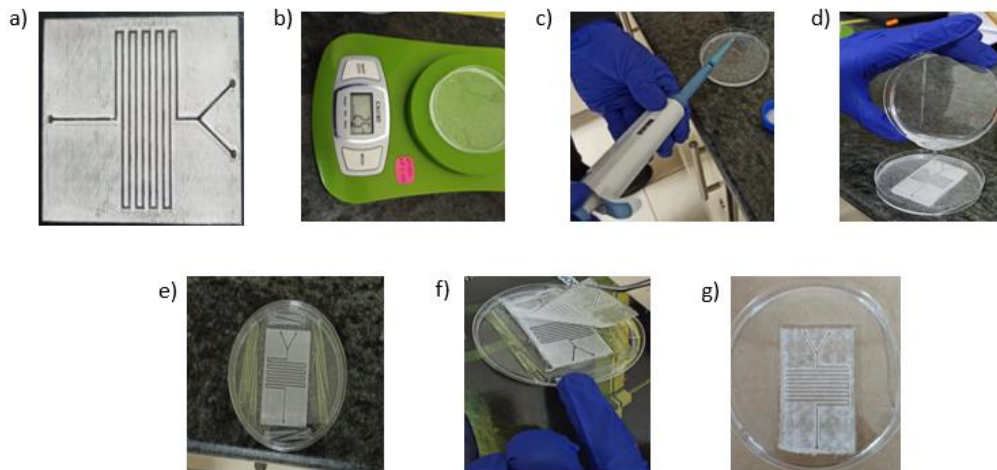


Imagen 40.- Fabricación del dispositivo en PDMS
Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

Una vez realizado todos los pasos descritos en la tabla 8, se puede obtener la réplica del molde el cual tenía pequeños canales debido al maquinado por láser que de cierta manera influye para que el PDMS se pegue o adiera con el vidrio, sumando a que no se contaba con una cámara de ozono adecuada con las características adecuadas para producir esta unión química. Debido a estos resultados la fabricación utilizando polímeros no dio el resultado esperado, de acuerdo a la bibliografía revisada es el método más común utilizado en otros estudios de fabricación de sistemas microfluídicos.

Pruebas realizadas

En las pruebas que se detallan a continuación se utilizó como líquido de prueba agua mezclada con tinta verde y roja, teniendo una densidad de $998 \frac{kg}{m^3}$ y una viscosidad de $1002 \times 10^{-6} Pa \cdot s$. También se aplicaron líquidos de mayor densidad como aceites biodegradables con una densidad de $897 \frac{kg}{m^3}$ y con una viscosidad de $0.0292 Pa \cdot s$.

Para las pruebas que se realizaron se empleó el modelo 1 de la Gráfico 7, se unieron las dos capas de acrílico mecanizadas en fresadora y se unieron por medio de pernos como se muestra en la imagen 41. Una vez sellado el dispositivo se procedió a mezclar (200 ul) de tinta verde en un recipiente con agua, dicha mezcla se colocó en una pipeta de (2000 ul) para introducir el líquido por las entradas del sistema.

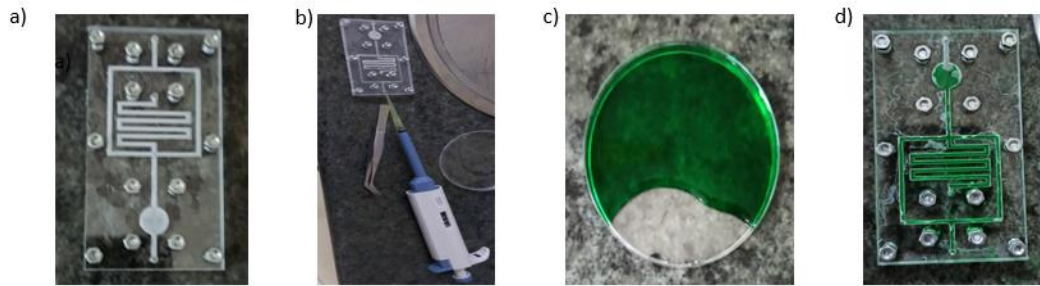


Imagen 41.- Prueba 1 utilizando tinta verde
Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

Para la segunda prueba se utilizó dos tintas de color verde y rojo empleando 200 ul, de cada una mezclándolas en agua, se utilizó el mismo diseño remplazando una de las bases por una mica de vidrio y a la tapa que contiene el diseño se le puso cinta de doble faz para mejorar la adherencia siendo maquina por láser (Grafico a). de igual manera se agregó unos tubos para las entradas evitando que se cree un vacío en los canales (Grafico b), para ingresar el líquido en el sistema se utilizó unas jeringas de 10 ml (Grafico c).

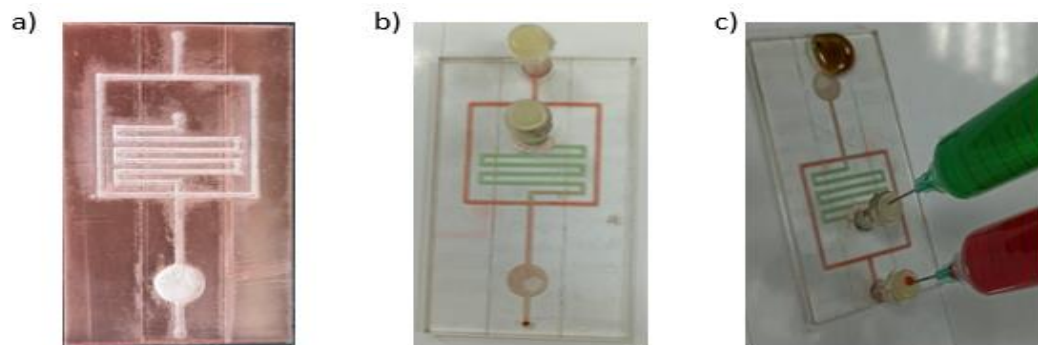


Imagen 42.- Prueba 2 utilizando cinta doble faz
Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

En esta prueba se nota la eficiencia de la aplicación de la cinta de doble faz y el uso de una mica de vidrio la cual se pegó sobre la base que contiene el diseño y se emplearon los mismos líquidos (ver imagen 43). Ayudando a una mejor fijación y evitar las fugas durante la prueba, la cual mostró una eficiencia en la mezcla que se puede observar con un cambio en la tonalidad del color.

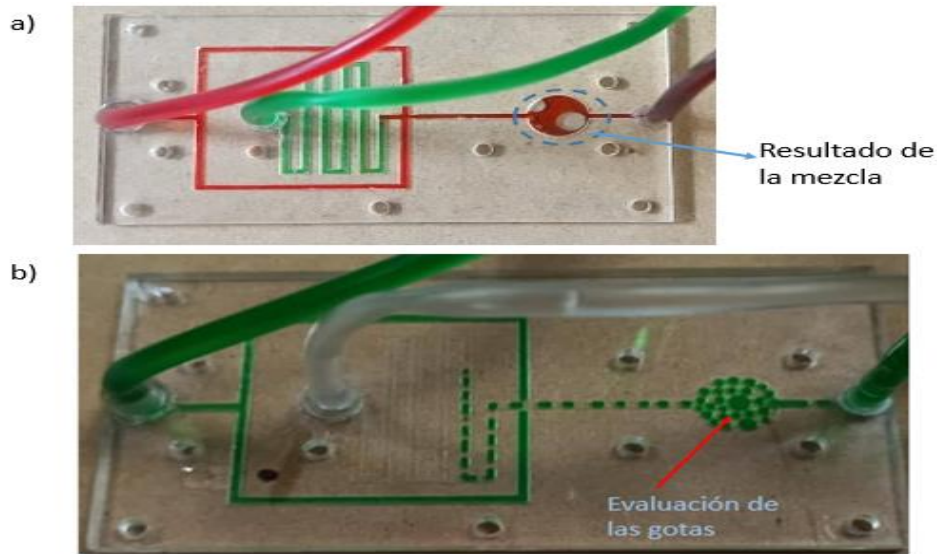


Imagen 43.- Prueba 3 utilizando: a) tinta a base de agua, b) aceites biodegradables
Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)

Para la última prueba que se realizó se empleó una mica de hidrogel, la misma que brinda una mejor adherencia con el acrílico. Su utilización es más fácil, primero se debe limpiar la base donde se va a colocar la mica, después se va pegando poco a poco la mica aplicando una fuerza leve para evitar que se formen burbujas de aire que dificulte la adherencia por completo. Una vez colocada la mica se hizo las pruebas como se muestra en la imagen 43, donde se aplicó tintas en base de agua (imagen a) donde se puede observar a simple vista el cambio de tonalidad del color. En la imagen b, se empleó aceites biodegradables y tinta verde a base de agua, donde se pudo observar la formación de gotas las mismas que no pueden ser controladas tanto en la cantidad y longitud de la gota, debido a que estas pruebas se realizaron de forma manual utilizando jeringas de (10 ml) aplicando diferentes presiones de forma aproximada.

IMPLEMENTACIÓN DEL MICRO DISPOSITIVO EN EL LABORATORIO

Se hizo el acondicionamiento y se acondicionó la zona de trabajo, implementando carteles de información, se diseñará un banco de trabajo que conste de un portaobjetos donde se colocarán los dispositivos microfluídicos, también tendrá un soporte donde se instalará un acamara la cual nos permite tomar fotografías que directamente envía a la computadora para su posterior análisis. Contará con estantes

para almacenar los dispositivos y de igual manera los implementos que se utilizaran durante los experimentos como se muestra en la imagen 44. También se realizó un manual de uso de los dispositivos microfluídicos el cual consta de parámetros de uso, limpieza, desinfección, almacenaje y reutilización de los dispositivos, de forma más detallada se encuentran todas las actividades en el anexo 1.

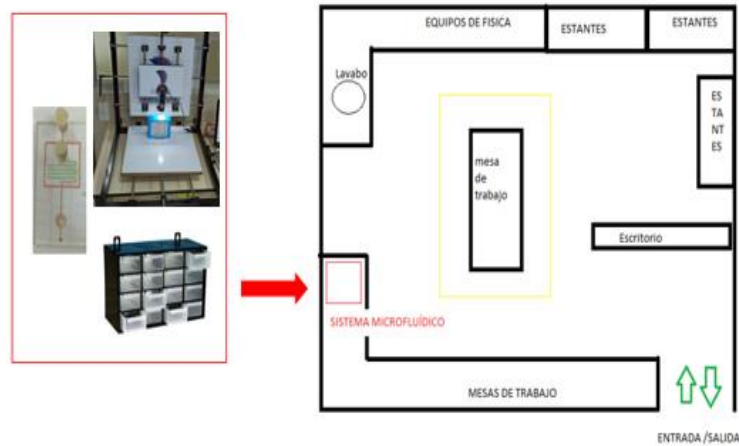


Imagen 44.- Implementación del Banco de trabajo
Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)

RESULTADOS ESPERADOS

- Se espera que el dispositivo fabricado realice una mezcla controlada de las proporciones de los líquidos empleados en los análisis. Esto quiere decir que se pueda controlar los porcentajes de mezcla según se requiera, Ejemplo: 35% de un líquido y el 65% de otro. Esto facilita un mejor control de la mezcla en las proporciones requeridas para un proceso.
- Que el dispositivo logre generar gotas de una manera controlada. Esto quiere decir, que el sistema debe permitir poder mezclar y generar gotas alternadas de cada líquido. Esto se puede lograr controlando la velocidad de flujo de los líquidos y según las propiedades de viscosidad de los líquidos.
- La implementación de estos dispositivos y el banco de trabajo puedan ser utilizados de forma periódica por los estudiantes en los experimentos o prácticas de laboratorio que se realizan en experimentos básicos de mecánica de fluidos o caracterización de las propiedades de fluidos en el laboratorio de ciencias básicas.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 9: Cronograma de implementación

Actividades	Mes 1				Mes 2			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Actividad 1: Implementación	X							
• Acondicionamiento del lugar de trabajo								
• Delimitación de la zona de trabajo	X							
• Instalación del banco de trabajo	X							
Actividad 2: Pruebas		X	X	X	X	X	X	X
• Funcionamiento								
• Funcionamiento del banco de trabajo			X					
• Condiciones ambientales				X				
Actividad 3: capacitación					X			
• Manual de uso del dispositivo					X			
• Almacenamiento								
• Limpieza						X		
• Seguimiento							X	
Actividad 4: posibles imprevistos								X

Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

En el tabal 6 se detalla el cronograma actividades que se van a llevar a cabo para la implementación de los dispositivos microfluídicos y el banco de pruebas, dichas actividades se encuentran divididas en cuatro aspectos importantes como son: la implementación que costa de la adecuación del lugar donde se va a poner el banco de trabajo, las pruebas que se van a realizar son del funcionamiento del banco de trabajo y el funcionamiento del mezclador, por último se realizada la capacitación del uso del banco de pruebas , limpieza y almacenamiento delos dispositivos. estas actividades se llevarán a cabo dentro de los laboratorios de la Universidad que están distribuidas para cada semana con una duración de dos meses de implementación.

ANÁLISIS DE COSTOS

El siguiente análisis de costos está realizado en dólares americanos y se incluyen únicamente las actividades de la puesta en marcha del banco de pruebas y unos cuantos ensayos con los dispositivos. No se incluye el diseño, fabricación y pruebas que se realizaron para disponer de los dispositivos. Además, está en concordancia con las actividades listadas en el cronograma de actividades.

Tabla 10: Análisis de costo

ÍTEM	DETALLE	CANTIDAD	MATERIAL	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
1	Diseño	1	Computadora	\$150	\$150
2	Fabricación	13	Acrílico (80 *50*3 mm)	\$1.50	\$19.50
3		2	Mica de hidrogel	\$4	\$8
4		5	Mangueras de sueros	\$0.75	\$3.75
5		1	Brujita	\$0.50	\$0.50
6		1	Cinta de doble fas	\$4.50	\$4.50
7		3	Mecanizado laser	\$1.50	\$4.50
8		6	Mecanizado fresadora	\$8.50	\$51.00
9		Pruebas	5	Jeringas (10 ml)	\$0.15
10	1		Aceite de soya (200 ml)	\$3	\$3.00
11	1		Tita roja (17 ml)	\$0.75	\$0.75
12	1		Tinta verde (17 ml)	\$0.75	\$0.75
13	Implementación	1	Banco de pruebas	\$168	\$168.00
14		2	Señalización	\$5	\$10.00
15		1	Estante	\$5	\$5.00
16				TOTAL	\$430.00

Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

- Este trabajo ha tenido por finalidad el estudio de dos diseños de mezcladores microfluídicos teniendo en cuenta las geometrías de los canales para generar una mezcla adecuada, utilizando el software de diseño SolidWorks 2018 se hizo el diseño de dos modelos de sistemas, el modelo 1 se diseñó con un espiral y una geometría cuadrada para los canales principales, para el segundo modelo se diseñó las entradas en forma de (Y) y un espiral a lo largo del canal principal ayudando a que la mezcla de los líquidos sea efectiva. Los canales principales de 1 mm, dos entradas y una salida de los reactivos de 2 mm de diámetro y el generador de gotas de 0.7 mm. Concluyendo que el sistema del modelo 1 es más apropiado para la realización de la mezcla y la generación de gotas
- Mediante el uso del software SolidWorks 2018, se hizo la simulación del comportamiento de los fluidos a diferentes presiones don se pudo notar que a una presión de 5 Pa nos da una velocidad máxima de 0.0003 m/s y a una tempera ambiente de 20°C (293.20 K), donde se observa la efectividad de la mezcla o generación de gotas.
- El método de fabricación más eficiente fue el maquinado por fresadora CNC, debido a que su mecanizado deja unas irregularidades dentro de los canales las mismas que nos ayuda a generar un flujo turbulento que nos

permite obtener una mejor mezcla, empleando un código G para programar las tareas de mecanizado como velocidad de corte de 600 m/s. Se utilizó como herramientas una fresa de 0.6 mm, aplicado a un acrílico transparente de 3 mm de espesor. Se utilizó mica de hidrogel para sellar los canales del dispositivo de forma efectiva.

- El diseño del modelo 1 en su tercera versión fue eficiente en la generación de la mezcla y obtención de gotas utilizando el método Flow focusing. Como característica principal del prototipo contra de una base formada por acrílico con una trayectoria principal de forma cuadrada más una sección de forma de espiral en el interior con un espesor de 1 mm y una rugosidad ligera con una característica de hidrofiliidad que permite que los líquidos circulen sin tener resistencia. El dispositivo fue capaz de crear las gotas utilizando aceite biodegradable con un volumen menor a 10 ml, se visualizó también que para la obtención de la mezcla se puede ocupar líquidos como el agua, pero en el caso del generador de gotas se debe ocupar líquidos de mayor viscosidad.

RECOMENDACIONES

Se recomienda tener todos los implemento y maquinaria adecuada para la fabricación de estos microsistemas.

Al momento de realizar la simulación tener en cuenta tapar las perforaciones que tengan para que el programa pueda ejecutar con facilidad la simulación.

Utilizar fresadora CNC para la fabricación de los dispositivos ya que el acabado es más limpio y favorece al mezclado de los líquidos, se podría utilizar el grabado por láser utilizando un equipo de mayor precisión.

Para secar los dispositivos se pude emplear un pequeño compresor para que con la fuerza del aire retirar toda el agua que se queda dentro de los canales así reduciendo el tiempo de secado y quedando listo para su uso.

Para hacer la simulación se debe tapar los agujeros de las entradas de los dispositivos para evitar que se genere un vacío dentro de los canales y dificulte las realizaciones de las pruebas.

Para la unión de las partes del dispositivo se recomienda usar la cámara de ozono si se trabaja con polímero y vidrio, pero en nuestro caso se utilizó acrílico y se unió

con una mica de hidrogel obteniendo un sellado muy bueno que nos permitió realizar las pruebas.

BIBLIOGRAFÍA

Acevedo Sepúlveda Lina Marcela. (n.d.). Diseño e implementación de un sistema microfluídico para la futura detección de cadenas de ADN de *helicobacter pylori* por medio de biosensores. Universidad de Los Andes.

Arzapalo Guere, J. J. (1997). Aplicación del software CAD/CAM para automatizar el flujo de información en máquinas herramientas CNC [Universidad Nacional de Ingeniería]. In Alicia. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/17208>

Chudnovsky, D. (1985). La difusión de tecnologías de punta en la Argentina: el caso de las máquinas herramientas con control numérico, el CAD/CAM y los robots. *Desarrollo Económico*, 24(96), 483. <https://doi.org/10.2307/3466919>

Creus Solé, A. (2011). *Neumática e Hidráulica* (2nd ed.). marcombo. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=V_RjOrxMEw4C&oi=fnd&pg=PT14&dq=hidr%C3%A1ulica+y+neum%C3%A1tica&ots=LHO4Etp-S0&sig=Z0LWXKtnKzkhjnxpfyswhxXpKUE#v=onepage&q=hidr%C3%A1ulica%20y%20neum%C3%A1tica&f=false

Diáz Lantada, D. A. (2009). Metodología para el desarrollo de dispositivos médicos basados en el empleo de polímeros activos como sensores y actuadores. Universidad Politécnica de Madrid.

García Palencia, O. (2012). *Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial* (1st ed.).

https://books.google.com.ec/books?id=IyejDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Mantenimiento&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Mantenimiento&f=false

Juiña, L., Cabrera, V. H., & Reina, S. (2017). Aplicación de la teoría de restricciones en la implementación de un Sistema de Manufactura CAD-CAM en la industria Metalmeccánica-Plástica. *Enfoque UTE*, 8(3), 56–71. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n3.167>

Lederkremer, M. (2019). *Redes Informáticas* (1st ed.). Six Ediciones. <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=7frADwAAQBAJ&oi=fn>

d&pg=PA1&dq=redes+inform%C3%A1ticas&ots=H5iJX2pSdE&sig=0LHvpJ9BW-

YINcwQzv8tPoVURd4&redir_esc=y#v=onepage&q=redes%20inform%C3%A1ticas&f=false

- Lin, A. C., & Quang, N. H. (2014). Automatic generation of mold-piece regions and parting curves for complex CAD models in multi-piece mold design. *ScienceDirect*, 57, 15–28. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2014.06.014>
- Parés Meléndez, J. A. (2020). Análisis del diseño de mezcladores microfluídicos mediante simulación fluidodinámica computacional. Universidad Politécnica de Catalunya Barcelonatech.
- Pérez Rodríguez, R., Simeón Monet, R. E., & Trinchet Varela, C. A. (2019). La gestión de la innovación en el centro de estudios cad/cam. *Ciencias Holguín*, 25(4), 1–10. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- Roja Lazo, Q., & Salas Bacalla, J. (1999). Producción automatizada sistemas CAD/CAE/CAM. *UNMSM*, 2, 38–47. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v02_n1/produccion.htm
- Rojas Lazo, O., & Rojas Rojas, L. (2014). Diseño asistido por computador. *Industrial Data*, 9(1), 007. <https://doi.org/10.15381/idata.v9i1.5709>
- Sanchis Llopis, R., Romero Pérez, J. A., & Ariño Latorre, C. V. (2010). Automatización industrial. *Universitat Jaume*, 1–258. www.sapientia.uji.es
- Sanz-Lobera, A., & González-Requena, I. (n.d.). Desarrollo de herramientas para la enseñanza practica de Cad/Cam en escuelas técnicas. Universidad Politécnica de Madrid. Retrieved June 8, 2022, from https://www.iiis.org/CDs2010/CD2010CSC/SIECI_2010/PapersPdf/XA253YU.pdf
- Suárez Castrillón, A. M., Tafur Preciado, W., & Calderón Nieves, P. R. (2015). Aplicación de herramientas CAD/CAM para el diseño y fabricación de prototipos de moldes de inyección de plásticos. *Revista Tecnura*, 19(46), 115. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a09>

ACEVEDO, Lina, 2012. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MICROFLUÍDICO PARA LA FUTURA DETECCIÓN DE CADENAS DE ADN DE HELICOBACTER PYLORI POR MEDIO DE BIOSENSORES. . 16 enero 2012. pp. 38.

CAÑETE, Agustín Fernández y ALONSO, Gemma Garcia, 2013. Estudio de la Hidrofobicidad y Autolimpieza en Materiales con Nanotratamientos Superficiales. . septiembre 2013. pp. 73.

CARRERE, Jon Zabalo, 2017. GRADO EN INGENIERÍA BIOMÉDICA. . junio 2017. pp. 110.

CINTAS, Pedro Grima y LLABRES, Javier Tort-Martorell, 1995. *Técnicas para la gestión de la calidad*. Ediciones Díaz de Santos. ISBN 978-84-7978-224-5. Google-Books-ID: SXDKgrbY1HQC

CRISTINI, Vittorio y TAN, Yung-Chieh, 2004. Theory and numerical simulation of droplet dynamics in complex flows—a review. *Lab Chip*. 2004. Vol. 4, no. 4, pp. 257-264. DOI 10.1039/B403226H.

FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ., 2008. *PROGRAMACIÓN AUTOMÁTICA DE MAQUINAS CNC*. en línea. 2008. Recuperado a partir de: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m4/master_cam.pdf

JIMÉNEZ, Francisca Gleboff, 2015. COMPORTAMIENTO HIDROFÍLICO E HIDROFÓBICO DE UN ADHESIVO UNIVERSAL Y UNO DE 5TA GENERACIÓN AL DUPLICAR LOS TIEMPOS DE FOTOACTIVACIÓN. . 2015. pp. 46.

JUÁREZ JIMÉNEZ, Pedro, 2018. Dispositivo microfluídico modular. Lab-on-a-chip. en línea. junio 2018. [Accedido 16 mayo 2022]. Recuperado a partir de: <https://oa.upm.es/51820/>

LAPIZCO-ENCINAS, Blanca, 2008. Aplicaciones de microfluídica en bioseparaciones. *Revista mexicana de ingeniería química*. 1 diciembre 2008. Vol. 7, pp. 205-214.

LÓPEZ ADRIANA, 2015. *RESOLUCIÓN NUMÉRICA DE LAS ECUACIONES DE NAVIER-STOKES*. en línea. 2015. Recuperado a partir de: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/7798/Adriana%20Cavada%20Lopez-Tapia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MICROFLUIDIC CHIPSHOP, 2022. *Lab-on-a-Chip Catalogue*. en línea. 2022. Recuperado a partir de: https://www.microfluidic-chipshop.com/wp-content/uploads/2022/02/Lab-on-a-Chip-Catalogue-02_2022-1.pdf

NGUYEN, Nam-Trung, WERELEY, Steven T. y SHAEGH, Seyed Ali Mousavi, 2019. *Fundamentals and Applications of Microfluidics, Third Edition*. Artech House. ISBN 978-1-63081-365-9. Google-Books-ID: h3iFDwAAQBAJ

OLIVA ROJAS, Héctor Alfonso, 2018. Diseño, fabricación y caracterización de un sistema microcapsular basado en microfluidos. *instname:Universidad de los Andes*. en línea. 2018. [Accedido 9 agosto 2022]. Recuperado a partir de: <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/34644>Accepted: 2020-06-10T09:15:17Z

ORTÍZ COLMENARES, Juan Sebastián, 2020. Sistemas microfluídicos basados en gotas : aplicaciones en el análisis genómico y celular. *instname:Universidad de los Andes*. en línea. 2020. [Accedido 28 abril 2022]. Recuperado a partir de: <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/49056>Accepted: 2021-02-18T12:40:04Z

PARÉS MELÉNDEZ, Jorge Andrés, 2020. Análisis del diseño de mezcladores microfluídicos mediante simulación fluidodinámica computacional. en línea. 14 julio 2020. [Accedido 28 abril 2022]. Recuperado a partir de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/335012>Accepted: 2021-01-08T09:04:37Z

PINEDA, Oriana Gerallin Chavez, 2016. Dispositivo microfluídico para aislar y recuperar células blancas. . agosto 2016. pp. 86.

RUBIO, J de Jesus, ORDAZ, G, JIMENEZ-LIZARRAGA, M y CABRERA, R Ivan, 2013. Solucio´n general de la ecuacio´n de Navier-Stokes para describir la dina´mica de un fluido viscoso homog´eneo en una tuber´ia abierta. *Rev. Mex. Fis.* 2013. pp. 7.

SANTOS, J., ARRIAGA, L. R., CALERO, M., LEE, H., MUÑOZ, J. y DAVID, D. A., 2018. Influencia de la formulación en emulsiones dobles con ingredientes ecológicos preparadas mediante una técnica microfluídica. *Afinidad*. 2018. Vol. 75, no. 583.

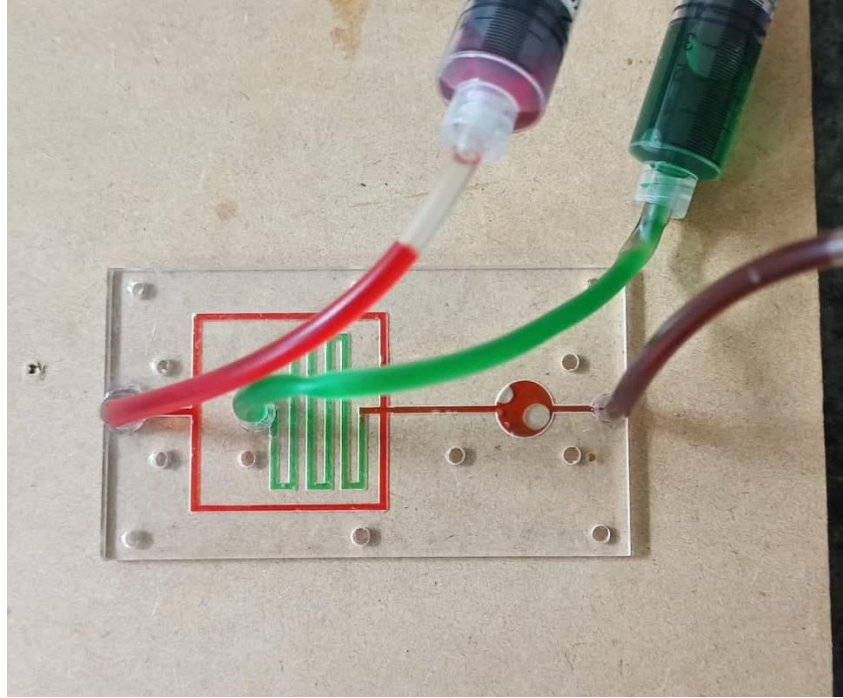
SARAÍ AGUILAR-BAROJAS, 2005. *Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud*. en línea. 2005. Recuperado a partir de: <https://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>

ZHU, Pingan y WANG, Liqiu, 2017. Passive and active droplet generation with microfluidics: a review. *Lab on a Chip*. 2017. Vol. 17, no. 1, pp. 34-75. DOI 10.1039/C6LC01018K.

ANEXOS

MANUAL DE USO

DISPOSITIVO MEZCLADOR DE MICROFLUÍDICA



Preparación para el uso

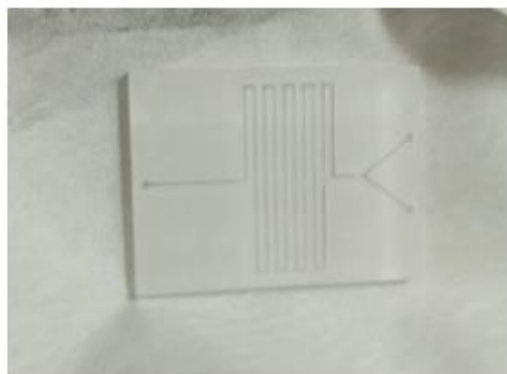
Para el uso de los dispositivos se utilizará un banco de trabajo, en el cual se pondrán los dispositivos para realizar las practicas

- Sacar cuidadosamente los dispositivos para mantener la limpieza y esterilización para un funcionamiento
- Se limpiará los dispositivos
- Se tomarán las medidas de los líquidos a utilizar
- Fijar el dispositivo en el banco de trabajo
- Ingresar los líquidos utilizando jeringas
- Mantener una presión contante par que no se produzcan burbujas
- Utilizar una cama microscópica para la toma de resultados.
- Utilizar guantes en todo momento.

Limpieza
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar las jeringas introducir agua con detergente o jabón líquido dentro de los canales, repetir el proceso las veces que sean necesarias hasta que no quede residuos de los reactivos utilizados. • Retirar el agua que se queda dentro de los canales inyectando aire mediante una jeringa, repetir el proceso hasta que salga completamente el agua. • Secar los dispositivos.
Desinfección
Se utilizará sustancias químicas para descontaminar la superficie del dispositivo sin dañar las superficies de los conductos.
Almacenamiento
Brindar una adecuada protección, identificación y mantenimiento de los casilleros donde van a permanecer los dispositivos. Evitando que tengan contacto con sustancias contaminantes. Manipular los dispositivos únicamente cuando se va a realizar los experimentos con el fin de mantenerlos limpios.
Reutilización
una vez realizada la limpieza y un adecuado almacenamiento, para su manipulación siempre utilizando guantes esterilizados, Estos dispositivos son totalmente reusables hasta que se termine su vida útil,

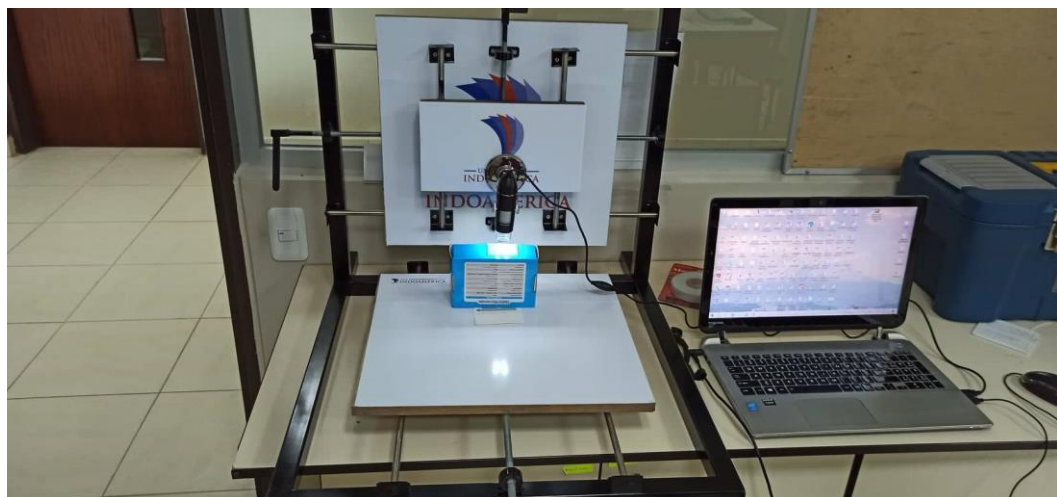
Anexo 1: Manual de uso de los dispositivos microfluídicos.

Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)



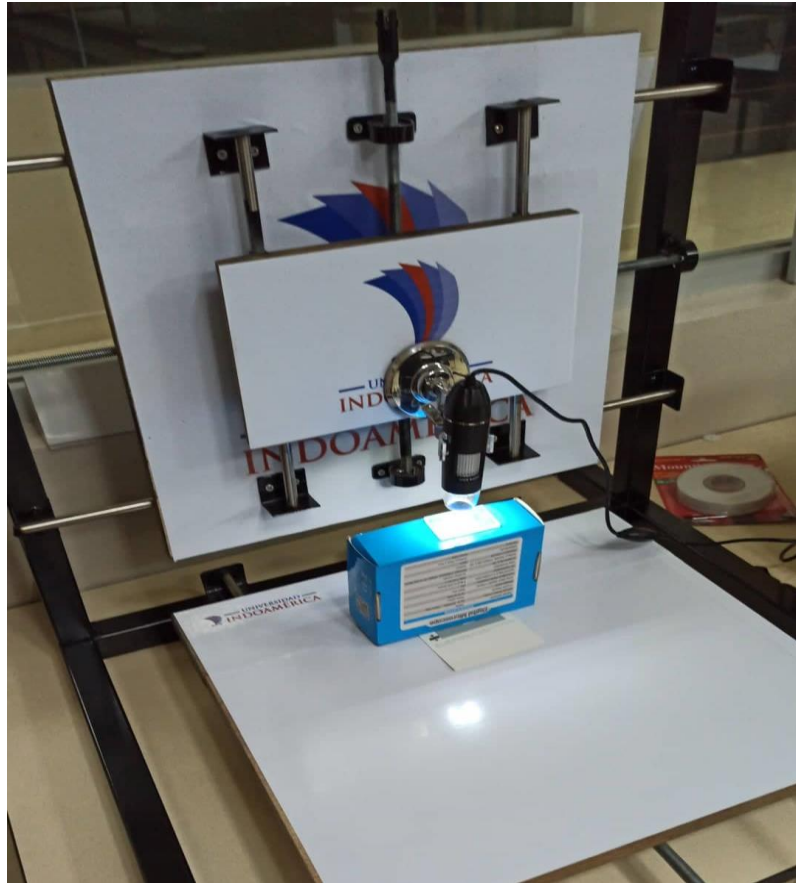
Anexo 2: Lavado y limpieza de los dispositivos

Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)



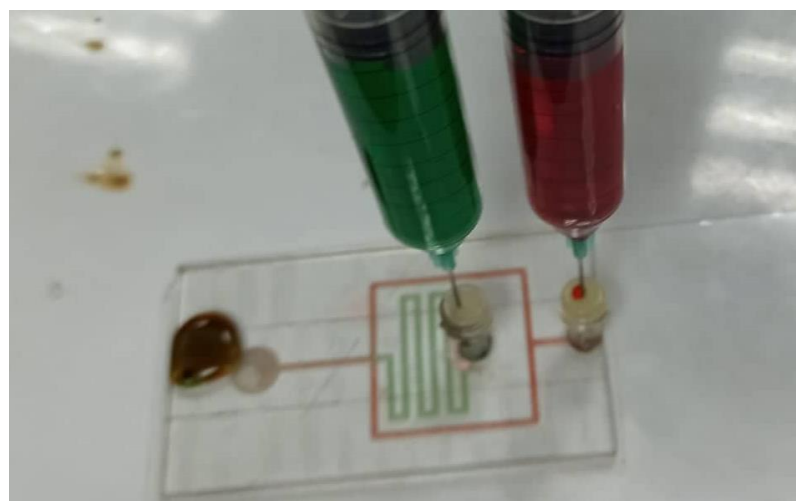
Anexo 3: Programa para la visualización de las imágenes en la computadora

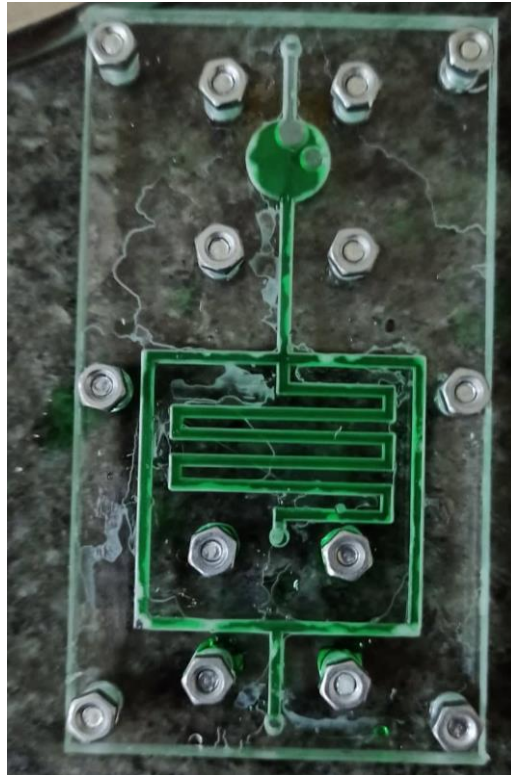
Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)



Anexo 4: Funcionamiento del banco de trabajo movimiento en el eje X,Y y Z.

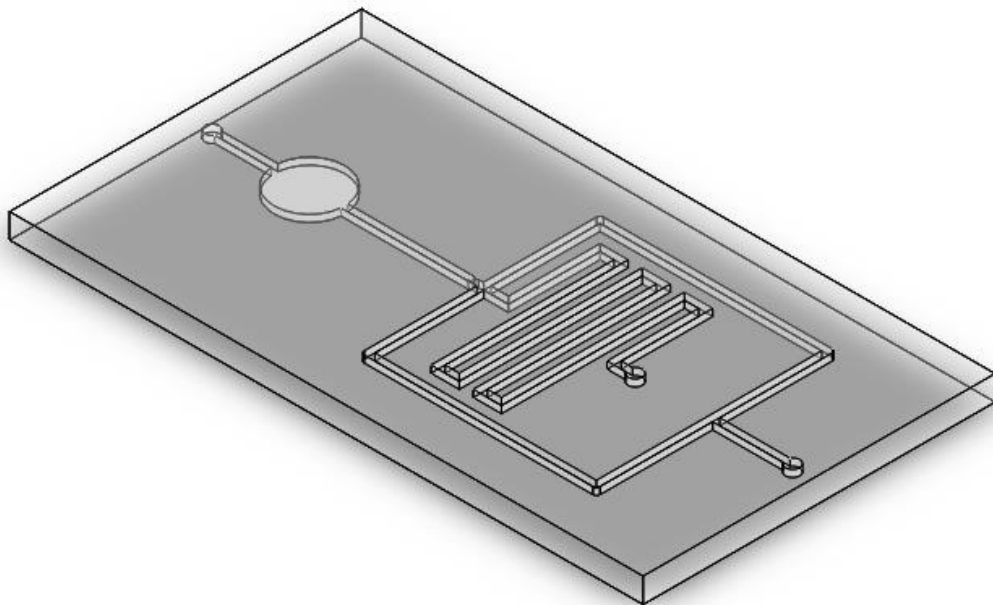
Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)





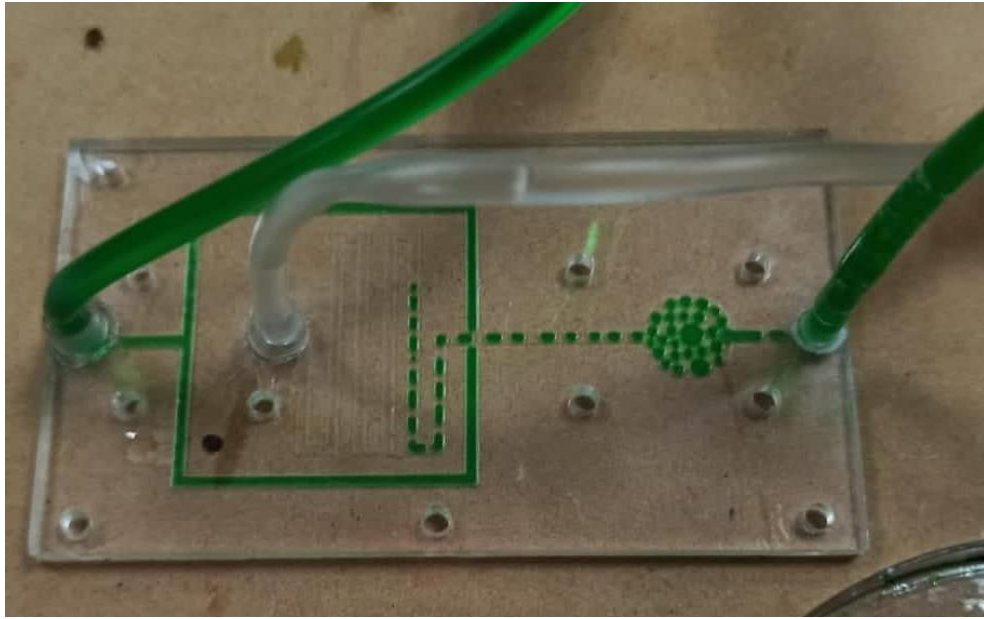
Anexo 5: Pruebas realizadas con los dispositivos

Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)



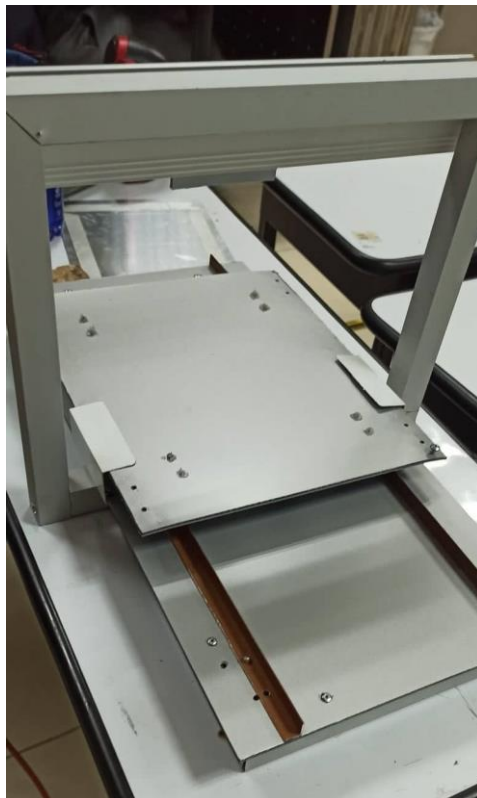
Anexo 6: Diseño final del dispositivo

Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)



Anexo 7:Funcionamiento con el diseño final generación de gotas

Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)



Anexo 8: Primer prototipo del banco de trabajo

Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)



Anexo 9: Tratamiento térmico del PDMS

Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)



Anexo 10: Aceites biodegradables empleados en las pruebas

Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)



Anexo 11: Cámara microscópica empleada en el banco de trabajo
Elaborado por: Santacruz, Cristopher (2022)

G21
G90
M3 S1000
G1 Z3.810 F228.6
G0 X17.666 Y24.854
G1 Z-0.500 F600.0
G1 X17.731 Y24.950 F600.0
G1 X17.603 Y25.052 F600.0
G1 X17.519 Y24.972 F600.0
G1 X17.666 Y24.854 F600.0
G1 X17.689 Y24.819 F600.0
G1 X17.785 Y24.958 F600.0
G1 X17.600 Y25.105 F600.0
G1 X17.466 Y24.976 F600.0
G1 X17.604 Y24.801 F600.0
G1 X17.689 Y24.819 F600.0
G1 X17.714 Y24.783 F600.0
G1 X17.839 Y24.966 F600.0
G1 X17.597 Y25.157 F600.0
G1 X17.412 Y24.980 F600.0
G1 X17.589 Y24.757 F600.0
G1 X17.714 Y24.783 F600.0
G1 X17.738 Y24.747 F600.0
G1 X17.893 Y24.974 F600.0
G1 X17.595 Y25.210 F600.0
G1 X17.366 Y24.991 F600.0
G1 X17.425 Y24.823 F600.0
G1 X17.580 Y24.714 F600.0
G1 X17.738 Y24.747 F600.0
G1 X17.762 Y24.710 F600.0
G1 X17.939 Y24.969 F600.0
G1 X17.884 Y25.096 F600.0
G1 X17.589 Y25.259 F600.0
G1 X17.319 Y25.002 F600.0
G1 X17.391 Y24.798 F600.0
G1 X17.572 Y24.671 F600.0
G1 X17.762 Y24.710 F600.0
G1 X17.786 Y24.674 F600.0
G1 X17.984 Y24.964 F600.0
G1 X17.915 Y25.125 F600.0
G1 X17.583 Y25.308 F600.0
G1 X17.273 Y25.012 F600.0

G1 X17.357 Y24.774 F600.0
G1 X17.563 Y24.628 F600.0
G1 X17.786 Y24.674 F600.0
G1 X17.810 Y24.637 F600.0
G1 X18.029 Y24.959 F600.0
G1 X17.946 Y25.154 F600.0
G1 X17.576 Y25.357 F600.0
G1 X17.226 Y25.023 F600.0
G1 X17.323 Y24.749 F600.0
G1 X17.555 Y24.585 F600.0
G1 X17.810 Y24.637 F600.0
G1 X17.834 Y24.601 F600.0
G1 X18.074 Y24.954 F600.0
G1 X17.978 Y25.180 F600.0
G1 X17.677 Y25.397 F600.0
G1 X17.564 Y25.397 F600.0
G1 X17.242 Y25.158 F600.0
G1 X17.183 Y25.024 F600.0
G1 X17.289 Y24.724 F600.0
G1 X17.546 Y24.543 F600.0
G1 X17.834 Y24.601 F600.0
G1 X17.858 Y24.564 F600.0
G1 X18.120 Y24.949 F600.0
G1 X18.011 Y25.205 F600.0
G1 X17.690 Y25.437 F600.0
G1 X17.552 Y25.437 F600.0
G1 X17.209 Y25.184 F600.0
G1 X17.140 Y25.026 F600.0
G1 X17.255 Y24.699 F600.0
G1 X17.538 Y24.500 F600.0
G1 X17.858 Y24.564 F600.0
G1 X17.882 Y24.528 F600.0
G1 X18.166 Y24.944 F600.0
G1 X18.044 Y25.231 F600.0
G1 X17.702 Y25.478 F600.0
G1 X17.539 Y25.478 F600.0
G1 X17.176 Y25.209 F600.0
G1 X17.097 Y25.026 F600.0
G1 X17.221 Y24.674 F600.0
G1 X17.529 Y24.457 F600.0
G1 X17.882 Y24.528 F600.0
G1 X17.901 Y24.491 F600.0

G1 X18.091 Y24.678 F600.0
G1 X18.209 Y24.943 F600.0
G1 X18.076 Y25.257 F600.0
G1 X17.714 Y25.518 F600.0
G1 X17.526 Y25.518 F600.0
G1 X17.145 Y25.236 F600.0
G1 X17.053 Y25.028 F600.0
G1 X17.187 Y24.650 F600.0
G1 X17.521 Y24.415 F600.0
G1 X17.901 Y24.491 F600.0
G1 X17.921 Y24.454 F600.0
G1 X18.124 Y24.654 F600.0
G1 X18.252 Y24.943 F600.0
G1 X18.109 Y25.283 F600.0
G1 X17.727 Y25.558 F600.0
G1 X17.513 Y25.558 F600.0
G1 X17.113 Y25.264 F600.0
G1 X17.011 Y25.029 F600.0
G1 X17.152 Y24.625 F600.0
G1 X17.512 Y24.372 F600.0
G1 X17.921 Y24.454 F600.0
G1 X17.940 Y24.416 F600.0
G1 X18.158 Y24.631 F600.0
G1 X18.296 Y24.943 F600.0
G1 X18.142 Y25.309 F600.0
G1 X17.739 Y25.598 F600.0
G1 X17.500 Y25.598 F600.0
G1 X17.081 Y25.291 F600.0
G1 X16.967 Y25.029 F600.0
G1 X17.118 Y24.600 F600.0
G1 X17.504 Y24.330 F600.0
G1 X17.940 Y24.416 F600.0
G1 X17.959 Y24.379 F600.0
G1 X18.191 Y24.608 F600.0
G1 X18.339 Y24.943 F600.0
G1 X18.176 Y25.334 F600.0
G1 X17.752 Y25.639 F600.0
G1 X17.487 Y25.639 F600.0
G1 X17.049 Y25.318 F600.0
G1 X16.924 Y25.031 F600.0
G1 X17.084 Y24.574 F600.0
G1 X17.495 Y24.287 F600.0

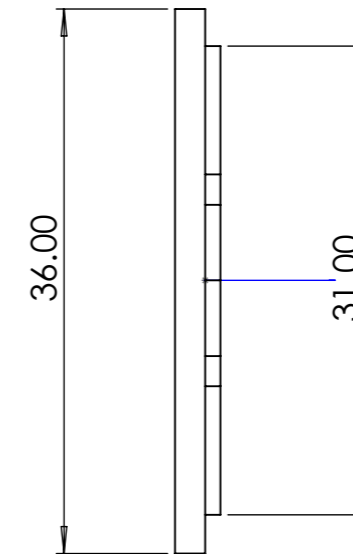
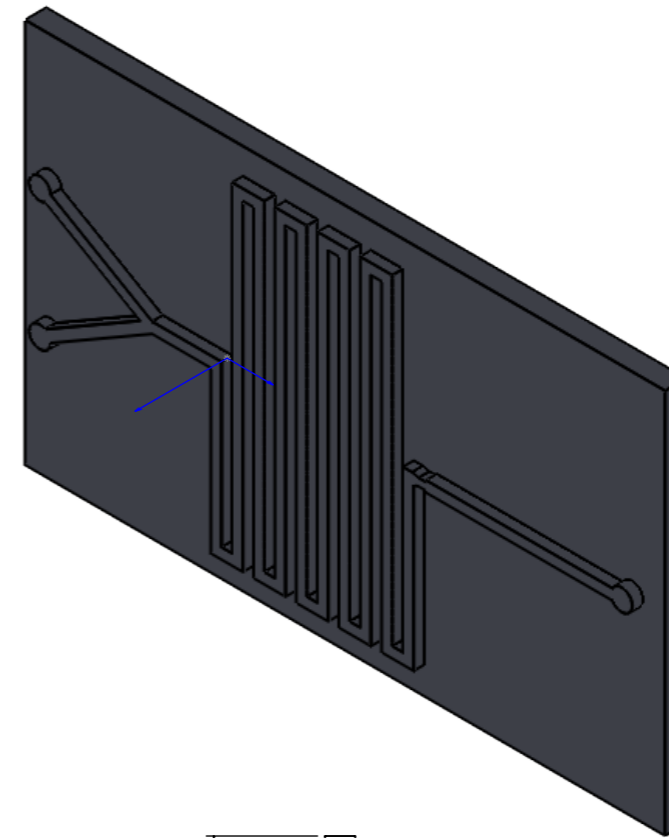
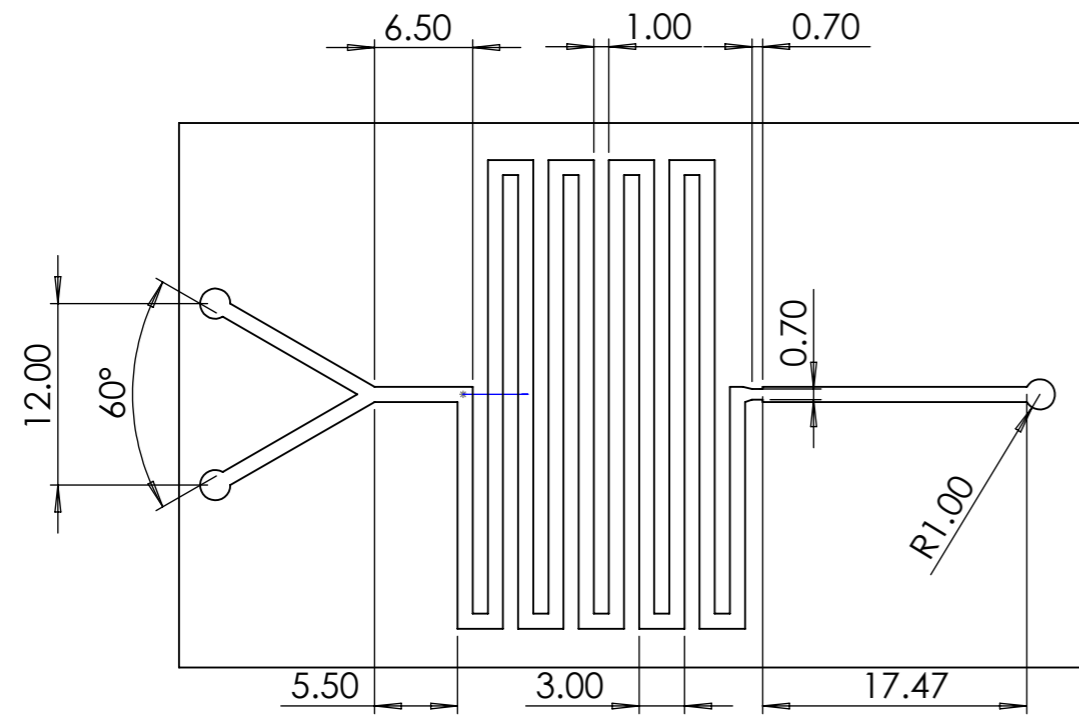
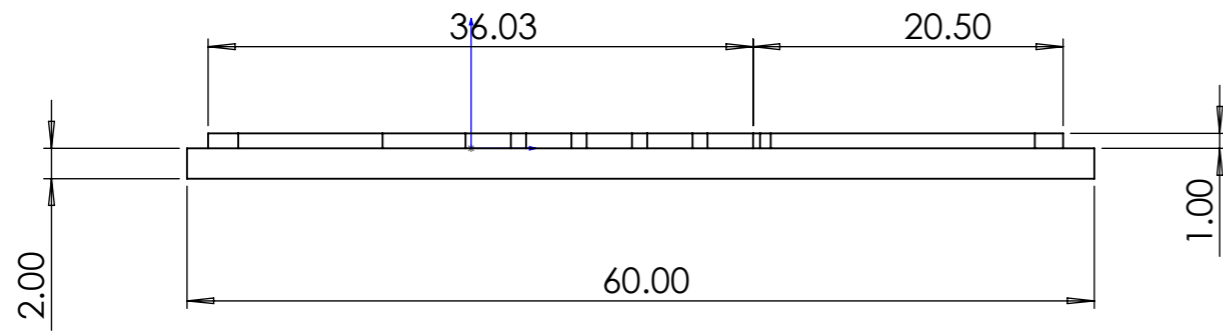
G1 X17.959 Y24.379 F600.0
G1 X17.983 Y24.346 F600.0
G1 X18.224 Y24.585 F600.0
G1 X18.383 Y24.943 F600.0
G1 X18.210 Y25.357 F600.0
G1 X17.980 Y25.583 F600.0
G1 X17.759 Y25.679 F600.0
G1 X17.474 Y25.679 F600.0
G1 X17.017 Y25.344 F600.0
G1 X16.881 Y25.033 F600.0
G1 X17.049 Y24.553 F600.0
G1 X17.258 Y24.347 F600.0
G1 X17.488 Y24.247 F600.0
G1 X17.754 Y24.247 F600.0
G1 X17.983 Y24.346 F600.0
G1 X18.006 Y24.312 F600.0
G1 X18.258 Y24.561 F600.0
G1 X18.426 Y24.943 F600.0
G1 X18.244 Y25.379 F600.0
G1 X18.004 Y25.616 F600.0
G1 X17.766 Y25.719 F600.0
G1 X17.467 Y25.719 F600.0
G1 X17.248 Y25.624 F600.0
G1 X16.983 Y25.367 F600.0
G1 X16.838 Y25.033 F600.0
G1 X17.014 Y24.531 F600.0
G1 X17.235 Y24.313 F600.0
G1 X17.481 Y24.206 F600.0
G1 X17.762 Y24.206 F600.0
G1 X18.006 Y24.312 F600.0
G1 X18.029 Y24.279 F600.0
G1 X18.291 Y24.538 F600.0
G1 X18.469 Y24.943 F600.0
G1 X18.278 Y25.402 F600.0
G1 X18.027 Y25.650 F600.0
G1 X17.773 Y25.760 F600.0
G1 X17.460 Y25.760 F600.0
G1 X17.225 Y25.657 F600.0
G1 X16.950 Y25.391 F600.0
G1 X16.795 Y25.035 F600.0
G1 X16.980 Y24.509 F600.0
G1 X17.211 Y24.280 F600.0

G1 X17.473 Y24.166 F600.0
G1 X17.769 Y24.166 F600.0
G1 X18.029 Y24.279 F600.0

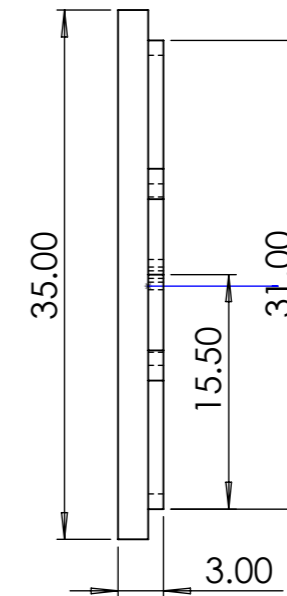
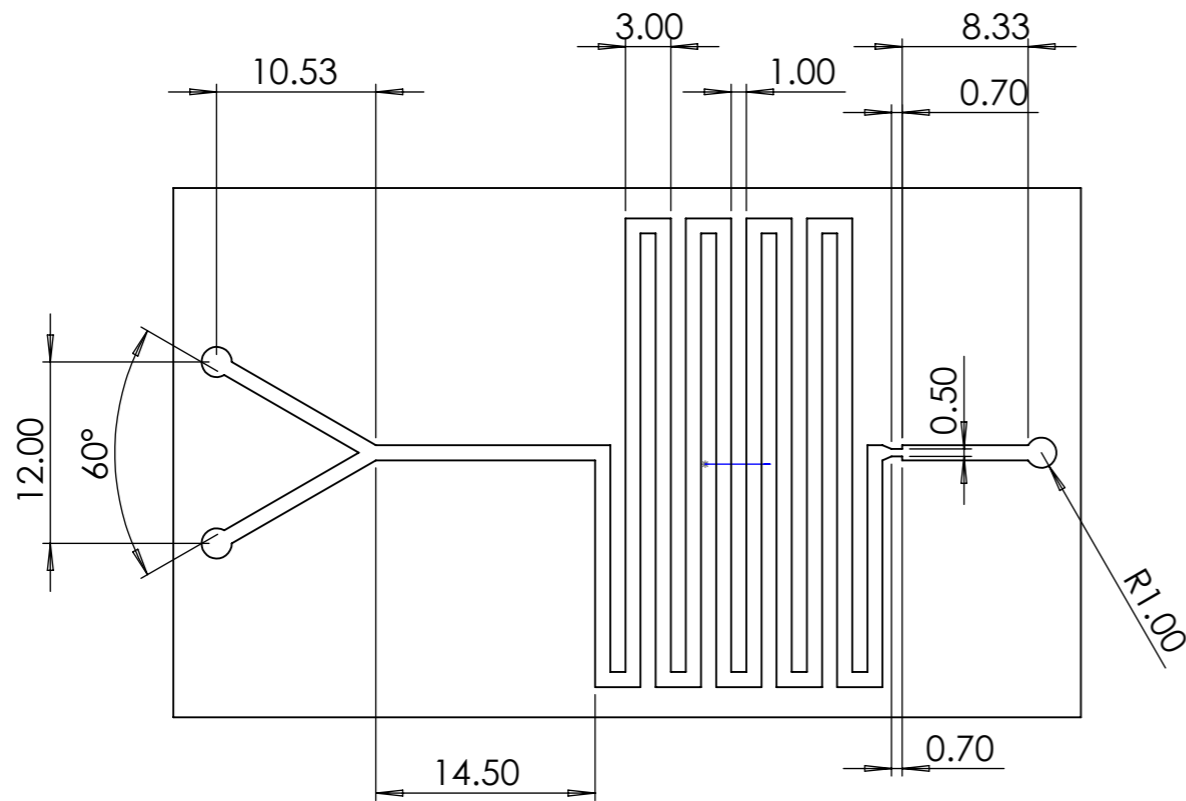
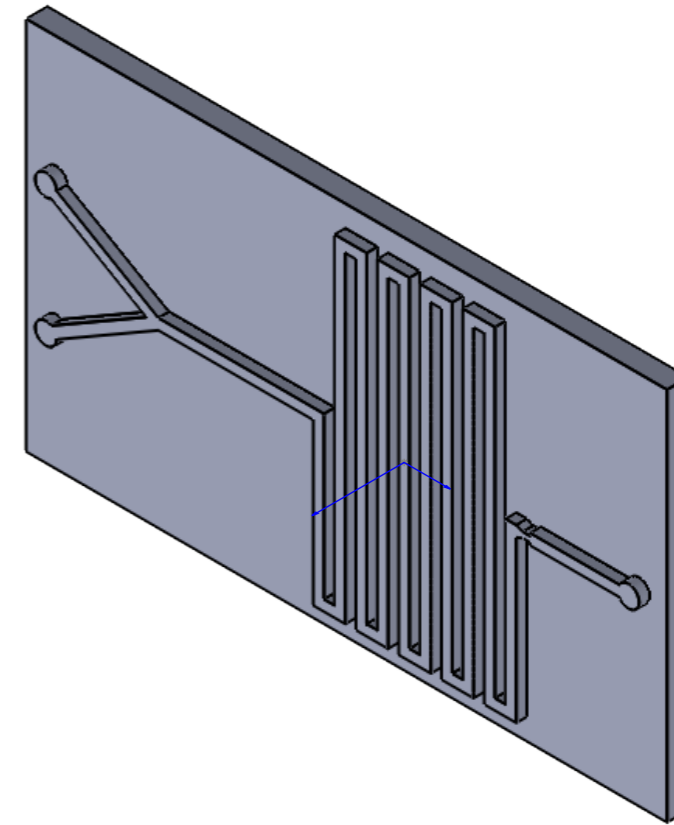
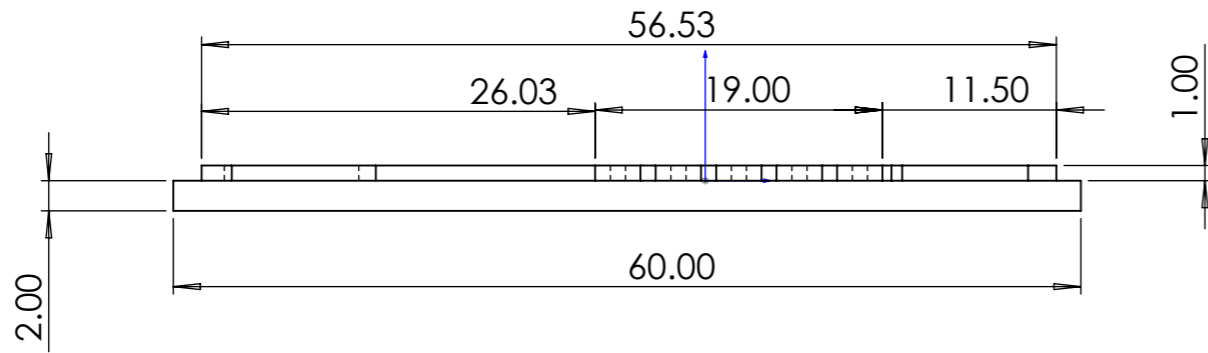
G1 X18.052 Y24.246 F600.0
G1 X18.324 Y24.515 F600.0
G1 X18.513 Y24.943 F600

G90
G1 Z3.810 F600.0
G0 X0.000 Y0.000
G4 P0.1
M5

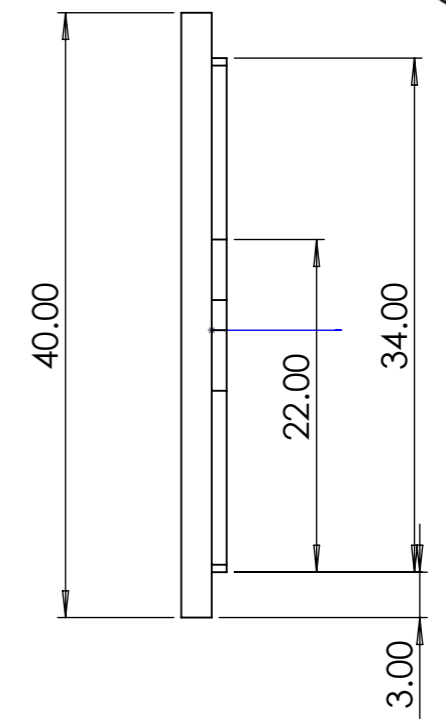
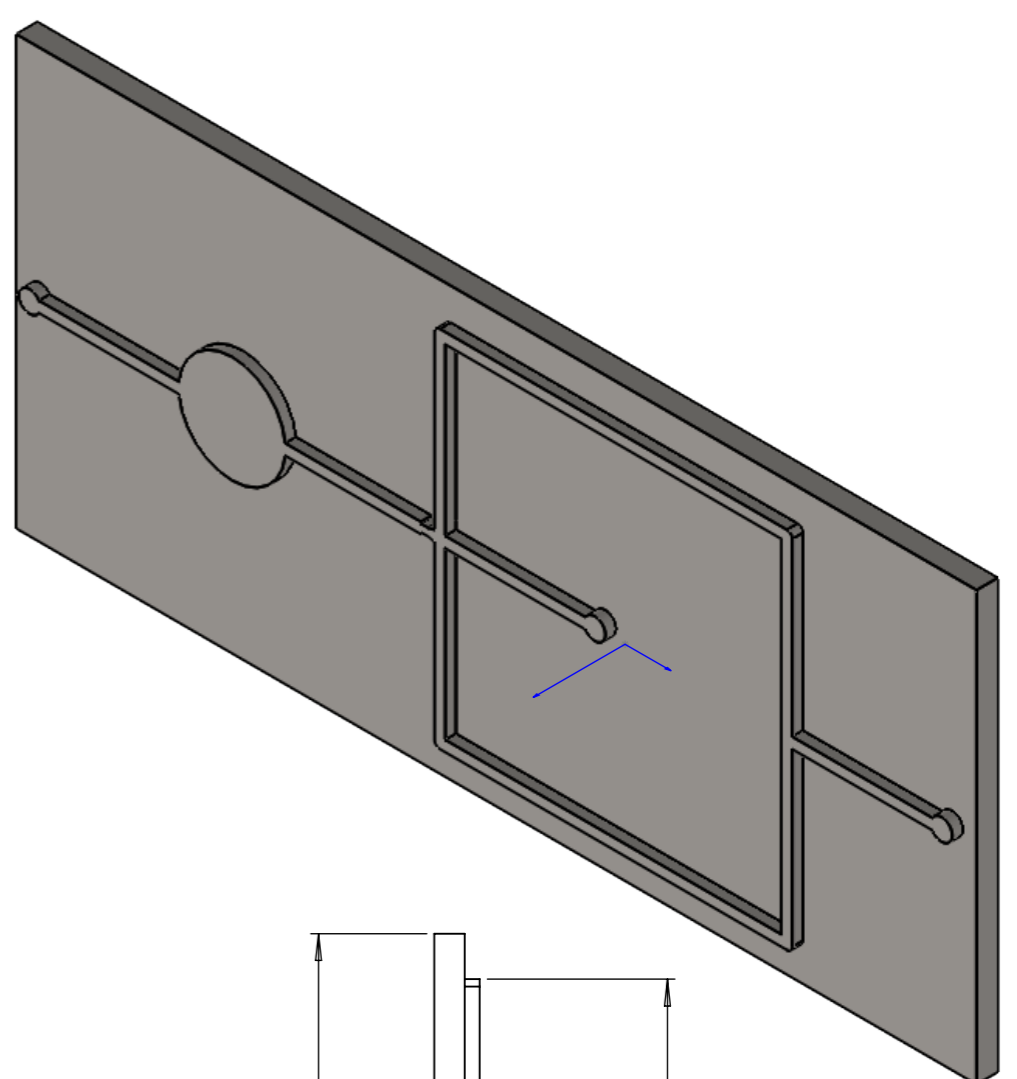
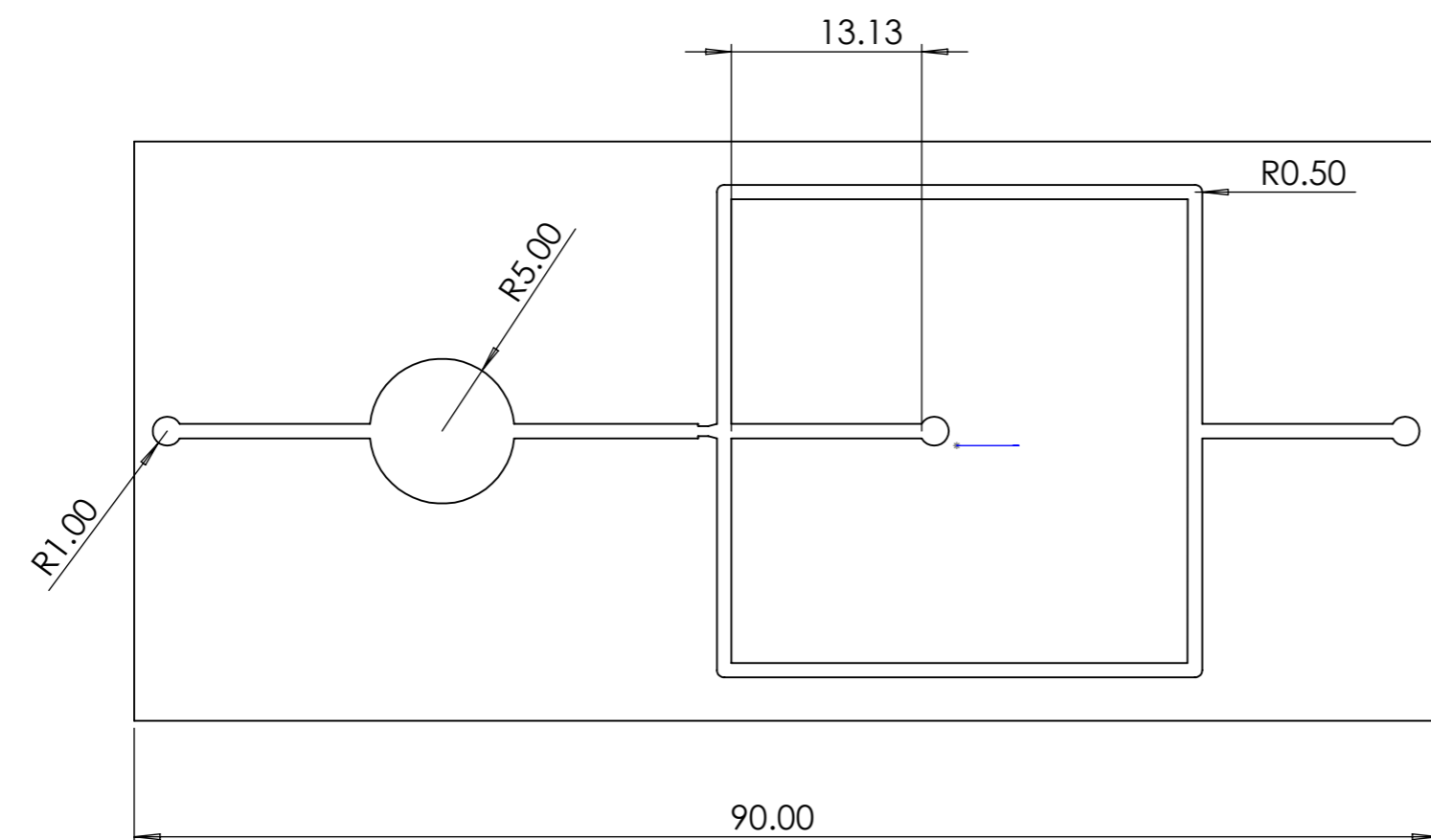
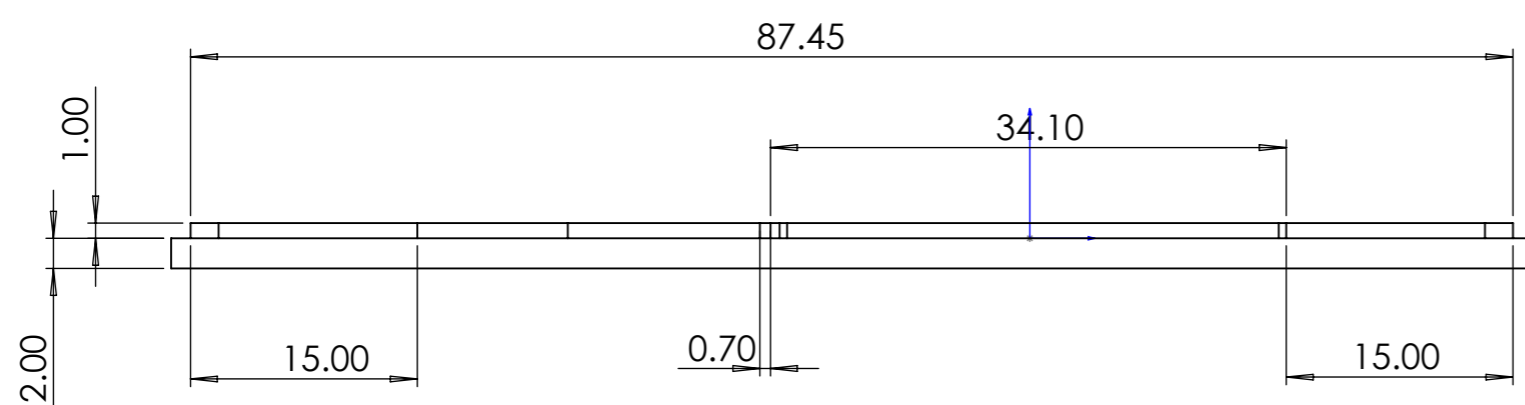
Anexo 12.- Programación del código G para el mecanizado en frazadera
Elaborado por: Santacruz, Christopher (2022)



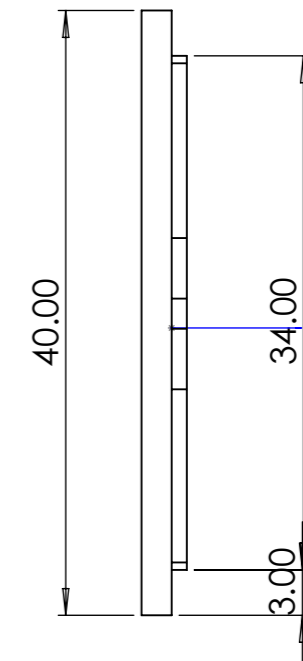
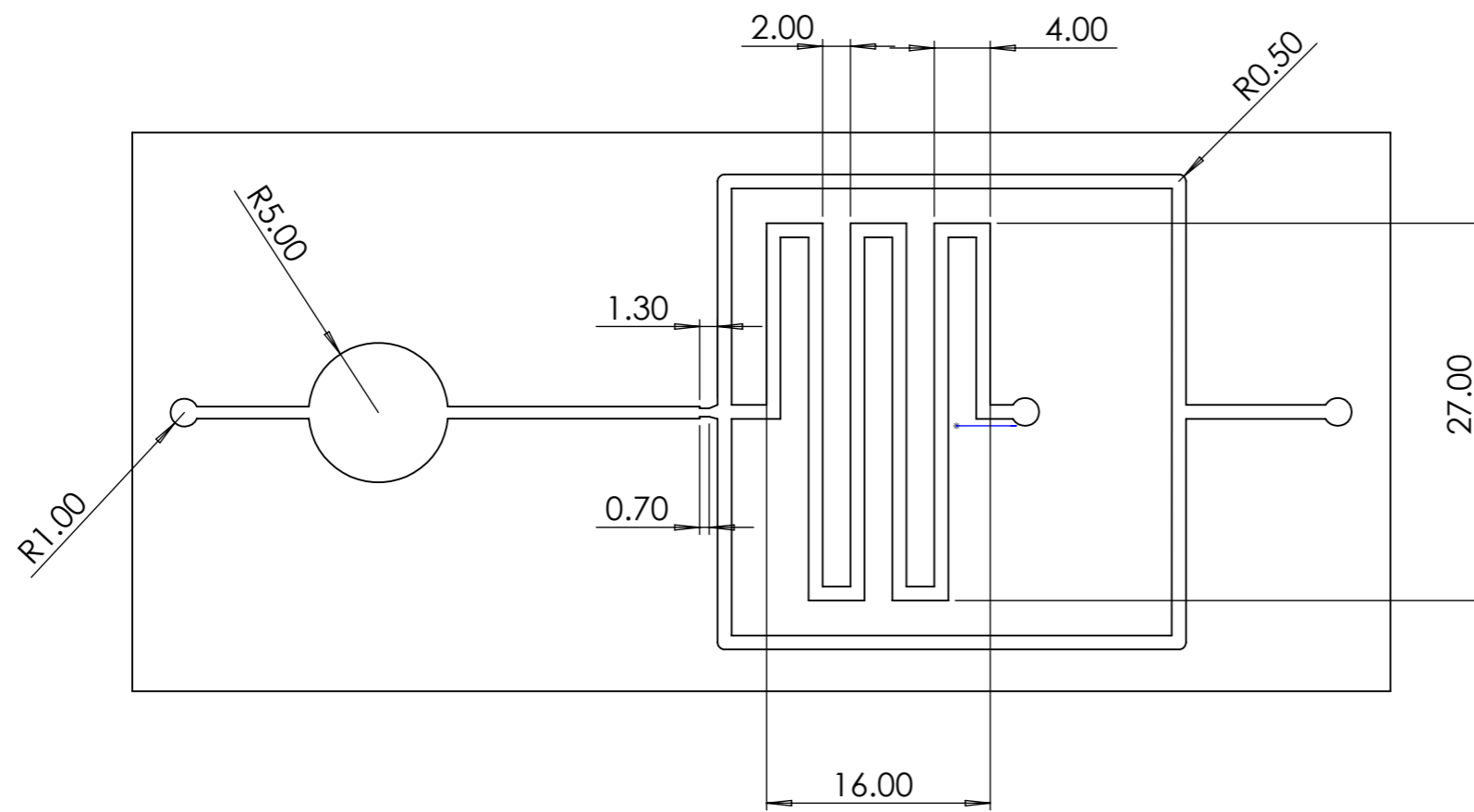
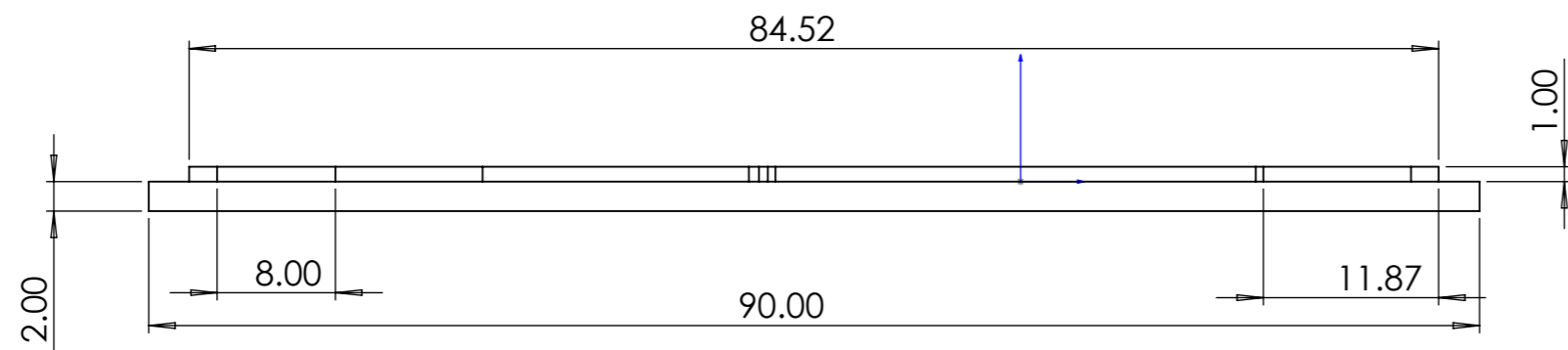
				Tolerancia	Peso	Materiales:	
				±1	gr	Acrílico Transparente	
					Fecha	Nombre	Denominación: MODELO 1 (0.7)
				Dib.	07/09/2022	Cristopher. S.	
				Rev.	08/09/2022	Ing. Juan Cruz	
				Apro.	08/09/2022	Ing. Juan Cruz	Escala: 2:1
				U.T.I INGENIERIA INDUSTRIAL		ANEXO:	13
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	



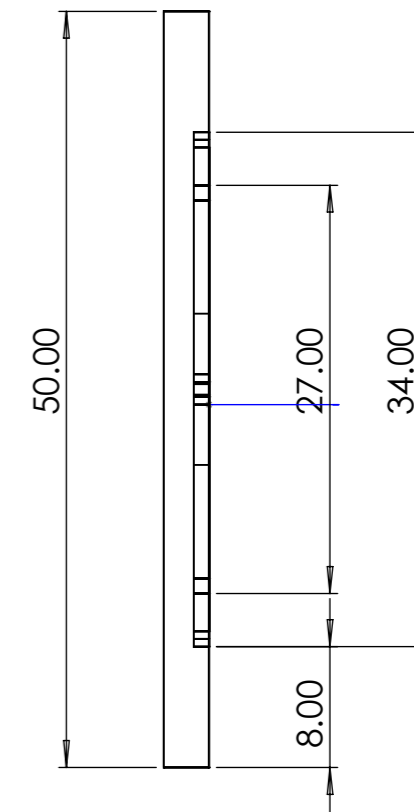
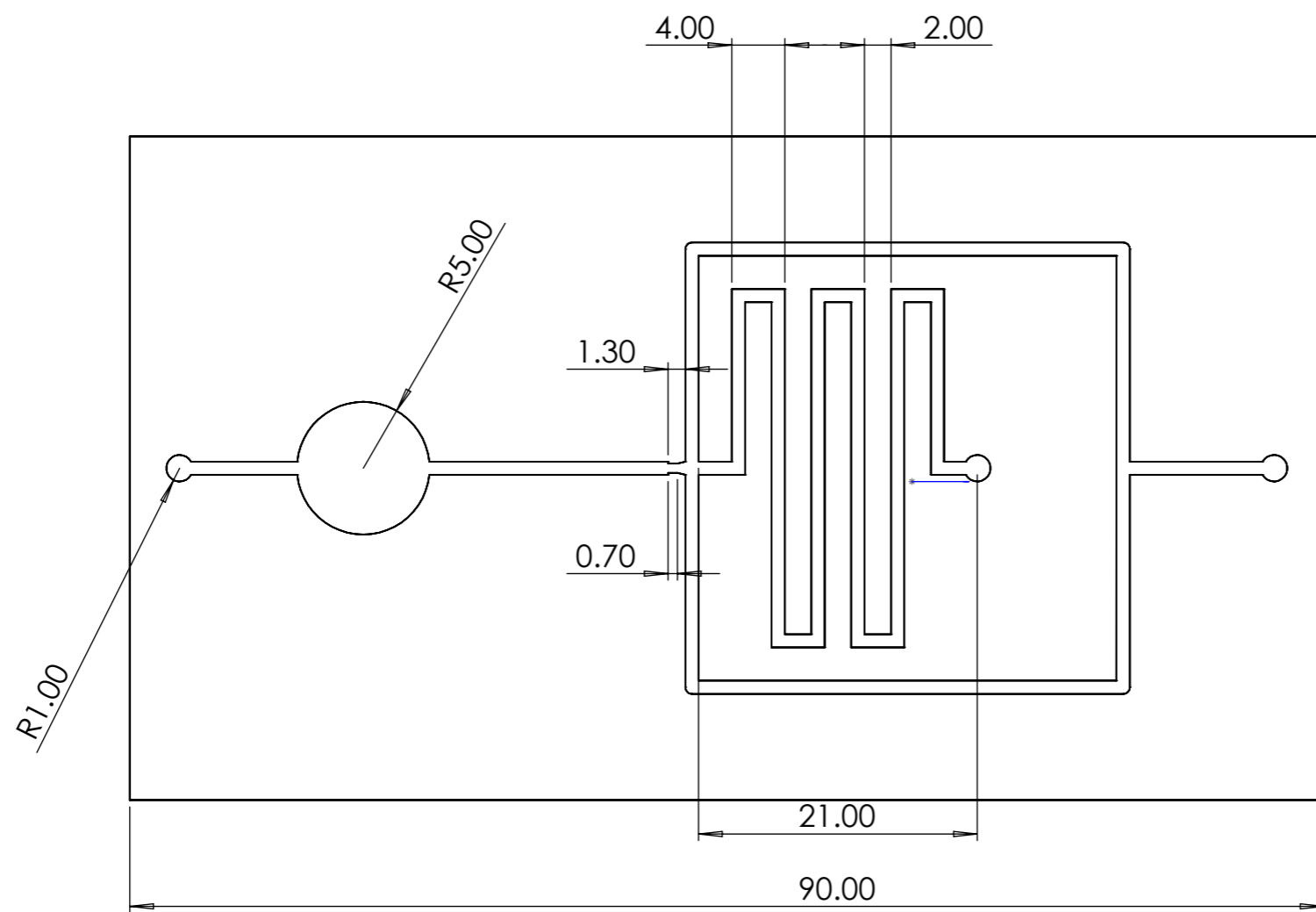
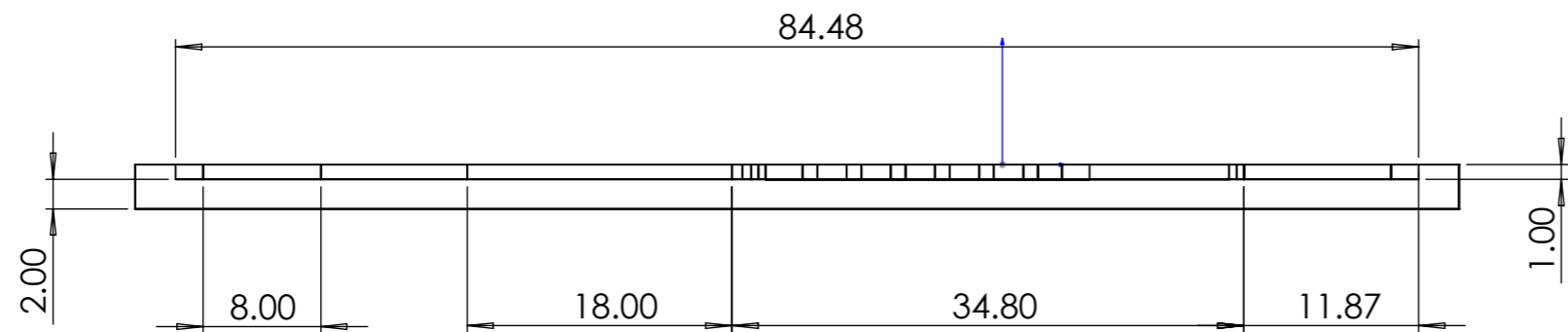
				Tolerancia	Peso	Materiales:	
				±1	gr	Acrílico Transparente	
					Fecha	Nombre	Denominación: MODELO 1 (0.5)
				Dib.	07/09/2022	Cristopher. S.	
				Rev.	08/09/2022	Ing. Juan Cruz	
				Apro.	08/09/2022	Ing. Juan Cruz	Escala: 2:1
				U.T.I INGENIERIA INDUSTRIAL		ANEXO	14
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	



				Tolerancia	Peso	Materiales:			
				±1	gr	Acrílico Transparente			
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
				Dib. 07/09/2022	Cristopher. S.			MODELO 2 PRIMERA VERSIÓN (0.7)	2:1
				Rev. 08/09/2022	Ing. Juan Cruz				
				Apro. 08/09/2022	Ing. Juan Cruz				
				U.T.I INGENIERIA INDUSTRIAL		ANEXO :	15		
						Sustitución			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						



				Tolerancia	Peso	Materiales:	
				±1	gr	Acrílico Transparente	
					Fecha	Nombre	Denominación: MODELO 2 SEGUNDA VERSIÓN (0.7)
				Dib.	07/09/2022	Cristopher. S.	
				Rev.	08/09/2022	Ing. Juan Cruz	
				Apro.	08/09/2022	Ing. Juan Cruz	Escala: 2:1
				U.T.I INGENIERIA INDUSTRIAL		ANEXO :	16
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	



				Tolerancia	Peso	Materiales:	
				±1	gr	Acrílico Transparente	
					Fecha	Nombre	Denominación: MODELO 2 VERSIÓN FINAL (0.7)
				Dib.	07/09/2022	Cristopher. S.	
				Rev.	08/09/2022	Ing. Juan Cruz	
				Apro.	08/09/2022	Ing. Juan Cruz	Escala: 2:1
				U.T.I INGENIERIA INDUSTRIAL		ANEXO :	17
						Sustitución	



Ambato 12 de septiembre del 2022

Señora:

Ing. María Belén Rúaless Martínez

**DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN**

Presente.

De mi consideración:

Yo, Pedro Escudero, portador de la cédula de identidad número 0603612524, en mi calidad de Coordinador e investigador principal del Proyecto de Investigación Titulado “Sistemas de microfluídica como herramientas de caracterización”, emito esta carta de **conformidad del trabajo de titulación terminado** “Implementación de un mezclador microfluídico mediante herramientas CAD/CAM para la Universidad Tecnológica Indoamérica” desarrollado por el señor **CRISTOPHER SAMIR SANTACRUZ RON** portador de la cédula de identidad número **1500835457**, en su calidad de estudiante de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**, bajo mi dirección como tutor individual.

Particular que informo para los fines pertinentes.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
**PEDRO FERNANDO
ESCUDERO VILLA**

Ing. Pedro Escudero, PhD.

Docente – Investigador FITIC

UNIVERSIADAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA