



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
INDOAMÉRICA**

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

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA:

**DESARROLLO DE UN SEPARADOR MICROFLUÍDICO MEDIANTE CAD/CAM
PARA APLICACIONES EN CIENCIAS BÁSICAS EN LA UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**

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

Autor

Núñez González Ariel Omar

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, ARIEL OMAR NÚÑEZ GONZÁLEZ, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular con el nombre “DESARROLLO DE UN SEPARADOR MICROFLUÍDICO MEDIANTE CAD/CAM PARA APLICACIONES EN CIENCIAS BASICAS EN 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 30 días del mes de Abril del 2022, firmo conforme:

Autor: Núñez González Ariel Omar

Firma: 

Número de Cédula: 1805375118

Dirección: Tungurahua, Ambato,

Correo Electrónico: arielnunez3107@gmail.com

Teléfono: 0999074017

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular “DESARROLLO DE UN SEPARADOR MICROFLUÍDICO MEDIANTE CAD/CAM PARA APLICACIONES EN CIENCIAS BASICAS EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA” presentado por NÚÑEZ GONZÁLEZ ARIEL OMAR, para optar por el Título 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 parte los Lectores que se designe.

Ambato, 30 de Abril del 2022



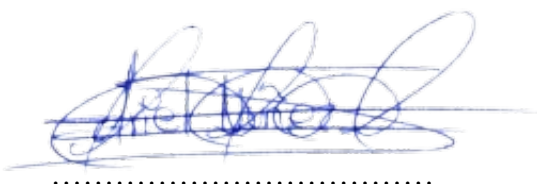
Firmado electrónicamente por:
**PEDRO FERNANDO
ESCUDERO VILLA**

.....
PhD. Pedro Fernando Escudera 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, 30 de Abril del 2022



.....
Ariel Omar Núñez González

1805375118

APROBACIÓN DE LECTORES

El Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema DESARROLLO DE UN SEPARADOR MICROFLUÍDICO MEDIANTE CAD/CAM PARA APLICACIONES EN CIENCIAS BASICAS EN 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, 30 de Abril del 2022

Juan Cruz
Villacis

Firmado digitalmente
por Juan Cruz Villacis
Fecha: 2022.09.08
14:35:45 -05'00'

Ing. Cruz Villacís Juan Serafín. Mg.

LECTOR

Firmado
digitalmente
por JOSE LUIS
VARELA
ALDAS
Fecha: 2022-09-
08 14:46-05:00

Ing. José Luis Varela Aldas. Mg.

LECTOR

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi mamá y mi papá ya que continuamente han estado a mi lado brindándome su apoyo y consejos para hacerme una mejor persona, a mis hermanos y sobrinos por sus palabras y su compañía.

AGRADECIMIENTO

El primordial reconocimiento a Dios que me ha guiado y me dio fuerzas para seguir, a mi familia por su comprensión, aliento constante, además de su apoyo incondicional durante mis estudios, y a toda la gente que de una u otra forma me ayudaron a lo extenso de mis estudios.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE IMÁGENES	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xv
ABSTRACT	xvii
CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	3
Justificación.....	6
Objetivo general	8
Objetivos específicos	8
CAPITULO II	9
INGENIERÍA DE PROYECTO	9
Diagnóstico de la situación actual de la empresa.....	9
Análisis de la necesidad	10
Cálculo de población.....	10
Resultados de la encuesta.....	11
Análisis comparativo de sistemas separadores de líquidos.....	17
Área de estudio.....	19
Modelo operativo	20
Aplicación del mapa operativo.....	21

CAPÍTULO III	22
PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS	22
Presentación de la propuesta:	22
Diseño de un separador de líquidos	23
Materiales del dispositivo:	23
La lámina acrílica	23
PDMS	23
SolidWorks:	23
Diseño:	23
Flujos compresibles isotérmicos:	24
Numero de Reynolds:	24
Chips:	24
Superficie:	25
Diseño 1	25
Diseño 2	29
Fabricación de dispositivo.....	33
Grabado en laser.....	35
Códigos G	36
Área de diseño 1	37
Limpieza:.....	38
Resultados esperados	39
Prueba hidrofílica:	40
Prueba hidrofóbica	41
Prueba hidrofóbica e hidrofílica:.....	43

Prueba con aceite epoxidado de soya:.....	44
Resultados de aceite epoxidado de soya:	44
Evaluación de aceite epoxidado de soya en los depósitos	46
Construcción de mesa de trabajo	47
Cronograma de actividades	49
Análisis de costo	50
CAPITULO IV	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
Conclusiones	52
Recomendaciones.....	53
Bibliografía	54
Anexos	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Área de estudio.....	19
Tabla 2: Propiedades del acrílico	33
Tabla 3 Características de laser	35
Tabla 4: Códigos G.	36
Tabla 5: Cronograma de actividades.....	49
Tabla 6: Análisis de costo.	50

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Ubicación de la Universidad Tecnológica Indoamérica	9
Imagen 2: Casa de la calidad.....	16
Imagen 3: Diseño de catálogo.....	17
Imagen 4: Diseño de catálogo.....	17
Imagen 5: Mercado de dispositivos microfluídicos.....	18
Imagen 6: Modelo operativo.....	20
Imagen 7: Diseño 1 (3D).....	26
Imagen 8: Diseño 1 (2D).....	27
Imagen 9: Simulación de diseño 1.....	28
Imagen 10: Diseño 2 (3D).....	29
Imagen 11: Diseño 2 (2D).....	30
Imagen 12: Regla de la cadena con derivadas parciales.....	31
Imagen 13: Flujo de fluidos en tubería.....	32
Imagen 14: Simulación de diseño 2.....	33
Imagen 15: Fabricación de diseño 1.....	34
Imagen 16: Fabricación de diseño 2.....	35
Imagen 17: Limpieza de dispositivos.....	38
Imagen 18: Pruebas de funcionalidad.....	39
Imagen 19: Prueba hidrofílica.....	40
Imagen 20: Implementación de PDMS.....	41
Imagen 21: Prueba de dispositivo con PDMS.....	42
Imagen 22: Comparación de resultados hidrofóbica e hidrofílica.....	43
Imagen 23: Prueba de aceite de soya.....	45
Imagen 24: Canal de dispositivo.....	45
Imagen 25: Resultados microscópicos de aceite epoxidado de soya.....	46
Imagen 26: Diseño de mesa de trabajo.....	47
Imagen 27: Mesa de trabajo.....	48

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafica 1: Resultado de respuesta 1.....	11
Grafica 2: Resultado de encuesta pregunta 2.....	11
Grafica 3: Respuesta de pregunta 3.....	12
Grafica 4: Respuesta de pregunta 4.....	12
Grafica 5: Respuesta de pregunta 5.....	13
Grafica 6: Respuesta de pregunta 6.....	14
Grafica 7: Respuesta pregunta 7.	14
Grafica 8: Respuesta pregunta 8.	15
Grafica 9: Análisis de superficie diseño 1.	37
Grafica 10: Resultados de evaluación de imagen hidrofílica.....	41
Grafica 11: Resultados de evaluación por imagen hidrofóbica.	42
Grafica 12: Análisis por imagen comparativo.	43

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1: Mesa de trabajo.....	57
Anexos 2: Construcción de mesa de trabajo	57
Anexos 3: Análisis de microscopio	58
Anexos 4: Aceites utilizados para pruebas	59
Anexos 5: Corte de mica de hidrogel.....	60
Anexos 6: Corte en maquina laser	61
Anexos 7: Lavado de recipiente para almacenado.....	62
Anexos 8: Diseño2.....	63
Anexos 9: Diseño 2 vistas.....	64
Anexos 10: Diseño 1	65
Anexos 11: Diseño 2 vistas.....	66

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

**TEMA: DESARROLLO DE UN SEPARADOR MICROFLUÍDICO
MEDIANTE CAD/CAM PARA APLICACIONES EN CIENCIAS BASICAS EN
LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**

AUTOR: Núñez González Ariel Omar

TUTOR: PhD. Escudero Villa Pedro Fernando

RESUMEN EJECUTIVO

La idea general de reducir las operaciones de laboratorio a una escala adecuada para un solo chip de micro fluidos ha sido muy atractiva para la investigación en las últimas décadas. Los sistemas de microfluídica resultan rentables debido al uso de pequeñas cantidades de reactivos en sus ensayos, sumado a las ventajas de la micro fabricación en la cual se pueden disponer de varios dispositivos en una sola fabricación. Estos dispositivos permiten manejar tiempos de análisis más cortos debido a su pequeña escala (orden micrométrico). Dada la dificultad de desarrollar por micro fabricación los dispositivos de microfluídica a nivel local, en este Trabajo de Titulación se plantea el uso de herramientas de mecanizado de materiales como laser y fresadora para desarrollar dispositivos microfluídicos funcionales de separación de líquidos. Para llevar a cabo este propósito se realizó **1)** Una revisión bibliográfica del estado del arte de los sistemas de microfluídica así como de los materiales y técnicas de fabricación, **2)** Se realizó el diseño de un dispositivo de separación de líquidos mediante herramientas CAD, **3)** Se realizó la construcción de un dispositivo de separación de líquidos usando materiales poliméricos, **4)** Se realizó la caracterización del dispositivo mediante el uso de tintas en base de agua y el uso de aceite epoxidado de soya (componentes del PVC) con el propósito de evaluar el dispositivo con líquidos de

diferente densidad, además de darle una orientación a los procesos industriales. Como resultado se obtuvo un dispositivo fabricado en acrílico y mica de hidrogel con una resolución de 500 micras y un 5% de rugosidad que se pudo reducir aplicando una capa fina de PDMS (Elastómero transparente) en la superficie y canales. Finalmente se pudo disponer de un dispositivo microfluídico separador de líquidos de bajo coste y funcional. Como trabajo futuro se plantea mejorar la característica de separado de líquidos optimizando el diseño y el proceso de fabricación.

DESCRIPTORES: líquidos, microfluídica, microfabricación

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

TEMA: DESARROLLO DE UN SEPARADOR MICROFLUÍDICO
MEDIANTE CAD/CAM PARA APLICACIONES EN CIENCIAS BASICAS EN
LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

AUTOR: Núñez González Ariel Omar

TUTOR: Dr. Escudero Villa Pedro Fernando

ABSTRACT

The general idea of reducing laboratory operations to a suitable scale with a single microfluidic chip has been very innovative to researchers in recent decades. Microfluidic systems are profitable due to the use of small amounts of reagents in their tests, added to the advantages of micro-fabrication in which several devices can be made available in a single fabrication. These devices allow for shorter analysis times due to their small scale (micrometric order). Given the difficulty of developing microfluidic devices locally by micro-manufacturing, this research proposes the use of material machining tools such as laser and milling machines to create functional microfluidic devices for liquid separation. To develop the suggested proposed, it was necessary to carry out the following steps 1) A bibliographic review of microfluidic systems as well as the materials and manufacturing techniques, 2) The design of a liquid separation device using CAD tools, 3) The creation of a liquid separation device using polymeric materials, 4) The characterization of the device through the use of water-based inks and the use of epoxidized soybean oil (PVC components). This is mainly intended to assess the mentioned device with liquids of different densities, it is also aimed to provide an orientation on the application industrial processes. As a result, a device made of acrylic and hydrogel mica was obtained with a resolution of 500 microns and 5% roughness, which could be reduced by applying a thin layer of PDMS

(transparent elastomer) on the surface. To conclude, the suggested functional liquid-separating microfluidic device was affordable and feasible. In future work, it is suggested to improve the liquid separation characteristic by optimizing the design and the manufacturing process.

KEYWORDS: liquids, microfluidics, micro-manufacturing

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La microfluídica a nivel mundial se ha vuelto popular como resultado de las diminutas cantidades de muestra usadas durante el análisis y las capacidades de muestreo de alto rendimiento de los dispositivos microfluídicos (Brown et al. 2006). La microfluídica otorga la miniaturización de operaciones básicas de laboratorio biológico o químico habituales. La tecnología Lab-on-a-chip ha sido bien aceptada por las comunidades de investigación biológica y médica como una herramienta prometedora para la ingeniería de microambientes a nivel molecular, celular y tisular (tejido). (Peñaherrera et al. 2016). Se están inventando muchas aplicaciones para los procesos y dispositivos a microescala, y el campo de la microfluídica está creciendo rápidamente. Muchas separaciones en biotecnología y productos farmacéuticos, así como diagnósticos médicos y ambientales, se han beneficiado de estos avances (Sósol-Fernández et al. 2012). Los dispositivos de micro fluidos se están desarrollando rápidamente, ya que se han utilizado para crear mini laboratorios en un chip, conocidos como lab-on-a-chip (Valdivia-Silva et al. 2020). Estos diminutos sistemas pueden realizar todas las funciones de equipos más grandes, con beneficios como bajo costo, portabilidad, menos muestras y reactivos necesarios, tiempo de procesamiento más rápido, mayor resolución y sensibilidad, e incluso se pueden usar. Los mini sistemas todavía están en progreso, pero ya son considerables (Para, Elaboracion y Tesis 2016). Los dispositivos microfluídicos ofrecen una masa térmica pequeña, una inercia térmica baja y una transferencia de calor rápida. Presentan una serie de ventajas en comparación con los equivalentes macroscópicos. Los pequeños volúmenes reducen el consumo de muestras y reactivos, lo que conduce a una ejecución económica de los sistemas. (Ahrberg, Manz y Chung 2016)

En la actualidad dentro del Ecuador no podemos encontrar esta tecnología, debido a que no existe un mercado y el conocimiento de los dispositivos microfluídicos, dentro de la industria y las evaluaciones de separación de líquidos se utilizan diferentes métodos o maquinaria para realizar este proceso de separación de líquidos, entre ellos las máquinas o procesos más populares y que se encuentran con mayor facilidad son las máquinas centrífugas de laboratorio y reacciones químicas. La investigación dentro de este campo se desarrolló por el interés de conocer los sistemas microfluídicos que han venido creciendo potencialmente dentro de la industria farmacéutica con la capacidad de poder analizar enfermedades y variantes virales, mediante el sistema microfluídico teniendo como principio el evaluar y desarrollar soluciones médicas a dichas enfermedades o variantes virales, siendo este campo una pequeña muestra de la importancia de este dispositivo ya que abarca muchos campos de la industria en donde recién se está dando a conocer la importancia y necesidades de dicho dispositivo y sistema. Actualmente, los resultados de algunos ensayos pueden tardar entre 24 y 72 horas si la detección o el aislamiento de las células se realiza mediante métodos microbiológicos tradicionales, que se basan principalmente en el cultivo celular. En aplicaciones como análisis de contaminación de alimentos o agua, control de calidad y análisis clínico, se necesitan métodos y sistemas que proporcionen resultados más rápidos. Es en este tipo de situaciones que la microfluídica puede ser la solución deseada (Para, Elaboración y Tesis 2016).

En la actualidad en los laboratorios de la Universidad Tecnológica Indoamérica, se analizó la falta de equipamiento para el estudio y análisis de líquidos, ya que no cuenta con instrumentación y un área para dichos estudios como son, el comportamiento de líquidos mezcla y separación de líquidos, lo cual se requiere equipamientos para dichos estudios y de enseñanza ya que dentro de la malla universitaria en especial de ingenierías se encuentran los estudios de líquidos y fluidos.

Para lo cual esta tesis implementa un dispositivo para la separación de líquidos mediante sistemas microfluídicos. El trabajo actual se centra en proporcionar soluciones a los problemas de costos de fabricación y disponibilidad de materiales, para

implementar esta propuesta, se propone las siguientes tareas: realizar investigaciones sobre la última tecnología, posteriormente diseñar un modelo funcional, por consiguiente, la simulación del diseño, después la fabricación del dispositivo y finalmente pruebas de funcionamiento del dispositivo. En el marco de desarrollo de un sistema microfluídica para separar líquidos se realiza basado en los antecedentes de dichos sistemas, para lo cual se utilizó aplicaciones CAD/CAM.

Antecedentes

La Universidad Tecnológica Indoamérica se constituyó en el año de 1998, brindando un servicio educativo de enseñanza universitaria en varios campos educativos, en la actualidad la universidad cuenta con dos matrices dentro del Ecuador específicamente en Ambato y Quito, teniendo el prestigio de ser una universidad que destaca por sus investigaciones realizadas dentro de la misma universidad, esto gracias a que la universidad cuenta con laboratorios destacados, sin embargo no hay uno específico para el control, manejo y estudio para el comportamiento de fluidos. (Indoamérica, 2020)

A fines de la década de 1980, se inició el trabajo de investigación de sistemas micromecánicas en el contexto de los dispositivos MEMS, es decir, la fabricación y el funcionamiento. Richard Feynman describió nuevas ideas novedosas y nuevas aplicaciones en ciencia e ingeniería a microescala en su profética conferencia de 1959 "Hay mucho espacio en el fondo". En una reunión de seguimiento en el Laboratorio de Propulsión a Chorro en 1983, Feynman revisó el tema y predijo algunas de las tecnologías MEMS estándar de hoy en día, como el enfoque de capa de sacrificio para fabricar micromotores de silicio, el uso de la activación electrostática y la importancia de la fricción (Trimmer, 1997).

El trabajo preliminar para la microfluídica comenzó antes. En 1846, Poiseuille publicó el primer artículo que describía el flujo en tubos con diámetros de 30 μm a 150 μm (Poiseuille, 1846). Su investigación sobre líquidos condujo a la conocida relación entre el caudal, la caída de presión y la geometría del tubo, aunque en ese momento parecía

desconocer el concepto de viscosidad. En 1909, Knudsen estudió el flujo de gases a través de capilares de vidrio en estados de flujo libre y de transición (Knudsen, 1909).

En estos experimentos, el flujo volumétrico, normalizado a la diferencia de presión de entrada a salida ($Q / P_i - P_o$), muestra un mínimo en $Kn \approx 1$ cuando se grafica contra la presión promedio en el capilar. Este comportamiento es consistente con En cambio, la idea se conoce como la paradoja de Knudsen o el mínimo de Knudsen. El primer experimento conocido de flujo de micro canales fue realizado por Gade en 1913, quien colocó dos placas paralelas a una distancia de $4\mu m$ (Gaede, 1913).

Gaede descubrió que la tasa de flujo de hidrógeno disminuía hasta aproximadamente el 50 % del valor de la molécula libre cuando pasaba por un valor mínimo y luego aumentaba al aumentar los niveles de presión. En capilares largos, la diferencia entre el valor mínimo y el valor de la molécula libre es solo del 5% al 8%. Aunque el mínimo de Knudsen se mide en capilares lisos, los tubos corrugados no muestran este comportamiento (Tison, 1993), por lo que el flujo delgado se comporta de manera diferente en tuberías y canales y las condiciones de la superficie pueden ser importantes en moléculas libres.

La fuerza impulsora detrás de la miniaturización fue el rendimiento mejorado que podría obtenerse al reducir la escala de los sistemas analíticos y la posibilidad de integrar múltiples componentes dentro de un solo dispositivo. El primer dispositivo de micro fluidos se desarrolló en la década de 1970 (Tarn y Pamme 2013), Los orígenes lejanos de la microfluídica se encuentran en los métodos micro analíticos: cromatografía en fase gaseosa (GPC), cromatografía líquida de alta presión (HPLC) y electroforesis capilar (CE), que, en formato capilar, revolucionaron el análisis químico (Whitesides 2006). Estos métodos combinados con la potencia del láser en la detección óptica hicieron posible lograr simultáneamente una alta sensibilidad y resolución utilizando cantidades muy pequeñas de muestra.

Según Torrez y Anzola, el propósito de su investigación, titulada "Lab_on_a_Chip: Existing Applications and Future Challenges", es reproducir la última tecnología en el

tema y conocer los desafíos futuros de muchas de estas unidades de aplicaciones existentes. Se puede concluir que las aplicaciones existentes y los proyectos propuestos basados en esta tecnología se cree que son el resultado del crecimiento de la industria tecnológica y el conocimiento científico en el siglo XXI en beneficio de la salud humana y el medio ambiente. Los resultados muestran cuatro aplicaciones básicas: a) Lab on a chip para procesamiento de fluidos (microfluídica), b) manipulación de partículas, c) separación y clasificación de partículas, d) manipulación celular, bacteriana y viral (León Torres y Torrealba Anzola 2011).

Acorde con Carnero, con la contribución del Análisis de un dispositivo con base en microfluídica para la manipulación y la inspección de *C. Elegans*, El análisis se ha llevado a cabo con herramientas de simulación tales como Ansys. A parte del diseño, dicho plan además aborda la construcción y puesta funcionando de un dispositivo, seleccionando los sistemas de bombeo necesarios para su desempeño. Al final han examinado los diferentes resultados logrados, se ha diseñado un dispositivo el cual con unas modificaciones puede llegar a ofrecer los resultados deseados, se han seleccionado los diferentes grupos necesarios y se ha puesto en práctica para lograr establecer su viabilidad. Finalmente, se han examinado los resultados logrados y se han buscado las probables razones de fallo y mejoras a hacer (C 2018).

Según Sánchez, el trabajo "Diseño, fabricación y evaluación de circuitos microfluídicos para el movimiento de bacterias magnéticas", en el que se construyó un sistema microfluídico capaz de simular canales, con diferentes dimensiones, ancho 1,5, 1, 0,5 mm, largo 3 cm, alto 100 μm y depósito de 8 mm de diámetro. Se ha demostrado que es posible crear sistemas microfluídicos para estudiar el movimiento fluido. Los parámetros más importantes de todo el desarrollo son los parámetros utilizados durante la etapa de procesamiento y la unión de PDMS al portaobjetos. Son dos situaciones críticas que requieren tiempo y dedicación y, si no se hacen bien, hay que repetir las desde el principio. Estos circuitos estaban hechos de polidimetilsiloxano (PDMS), un polímero cada vez más utilizado en este tipo de estudios por su transparencia y

biocompatibilidad. De la misma manera se crearon otros canales más complejos, pero era muy difícil inducir bacterias (Amaierako, Trabajo y Grado 2018).

Lo dicho por Valdivia-Silva, la propuesta "Desarrollo de un sistema microfluídico accesible y económico (Labonachip) para detectar células tumorales circulantes en cáncer de mama" es una propuesta de un sistema microfluídico (Labonachip) para detectar células cancerosas de mama circulantes (CTC). El rendimiento del sistema y la matriz magnética se evaluó utilizando células Jurkat y células de cáncer de mama que expresan la expresión diferencial de los marcadores de superficie CD45 y EpCAM en desarrollo. Para ello, el dispositivo fue diseñado en 3D y fabricado mediante fotolitografía blanda y cortadora láser. Se capturaron células tumorales marcadas con anticuerpo magnético. Las nanopartículas quedaron significativamente atrapadas en la medida sugerida por el modelado de campo magnético (Valdivia-Silva et al. 2020).

Basado en Pineda, el diseño del dispositivo permite el enfoque mecánico de la muestra sin el uso de más de una presión, lo que permite una operación fácil y una separación eficiente de leucocitos. Como resultado, el dispositivo tiene una tasa de recuperación del 70 % y distribuye las células a los sitios relevantes con una eficiencia de alrededor del 90 % sin afectar la viabilidad celular. Después de la separación celular, se analizó la eficiencia del sistema en términos de variables como la recuperación, la pureza y la viabilidad celular (Monterrey 2016).

Justificación

El desarrollo de este trabajo es tiene **importancia** porque permite contar con un sistema potente y fácil de usar para pruebas básicas de separación de líquidos. Son relativamente económicos por unidad de área en comparación con el silicio o el vidrio. Esta capacidad es especialmente el **impacto** para la producción en masa o para un solo uso en aplicaciones biomédicas. Tienen una amplia gama de propiedades de materiales para cumplir con los requisitos de proceso y equipo. Pueden proporcionar buena claridad óptica, aislamiento eléctrico o buena permeabilidad al aire, lo cual es importante para las aplicaciones celulares. El potencial del conocimiento del

procesamiento de plásticos para ser transferido de la macroestructura a la microestructura para avanzar en la producción en masa de dispositivos microfluídicos.

Si se considera que la mayoría de los productos farmacéuticos son productos combinados, así como varios productos químicos (ácidos orgánicos, sales orgánicas e inorgánicas, azúcar, sal, etc.) y todos son producidos por procesos líquidos, es fácil ver la **utilidad** de la separación de líquidos en la recuperación de los productos en químicos. dependiendo del tamaño de partícula, diferencia de densidad entre fases sólidas y líquidas, así como en otras propiedades (viscosidad, dureza sólida, caudal de proceso, etc.), se define un buen proceso de separación.

Así como la base de las materias primas en la industria es una combinación de varios suplementos (en su mayoría líquidos), los compuestos deben recuperarse para comenzar a mejorar las materias primas o evitar errores. Años atrás los dispositivos microfluídicos se fabricaban con los procedimientos de micro fabricación derivados de la industria electrónica de semiconductores ósea usando sustratos de silicio y grupos sofisticados de deposición y abrasión de cintas delgadas que son de elevado precio. En años actuales se han buscado procedimientos de construcción menos costosos, como grabados en laser, fresado CNC, etc. En donde los dispositivos son fabricados mediante la obtención de moldes (que tienen la posibilidad de ser de silicio o de polímeros) y réplicas (de polímeros).

Los **beneficiarios** serán la comunidad universitaria de la Universidad Tecnológica Indoamérica. Esto se debe a que podrá realizar análisis e investigaciones de líquidos, la separación de líquidos es un punto de partida muy importante ya que puede iniciar procesos modernos.

Es por esta razón este proyecto tiene **factibilidad** para la construcción de moldes con materiales alternativos y de menor precio como la mica de acrílico y PDMS. El ahorro de tiempo y la espera de pruebas en diferentes pacientes será otro punto para tener en cuenta a la hora de desarrollar chips microfluídicos, ya que se pueden obtener resultados de forma rápida y económica utilizando microchips sencillos.

Objetivo general

Desarrollar un separador microfluídico mediante CAD/CAM para aplicaciones en ciencias básicas en la Universidad Tecnológica Indoamérica.

Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica sobre los sistemas microfluídicos
- Diseñar un dispositivo de separación de líquidos mediante herramientas CAD.
- Construir un dispositivo de separación de líquidos con los materiales idóneos para su funcionalidad.
- Caracterizar la separación de líquidos obtenidos por el dispositivo fabricado.

CAPITULO II

INGENIERÍA DE PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual de la empresa

Universidad Tecnológica Indoamérica Campus Manuela Sáenz está ubicado en la ciudad de Ambato en la provincia de Tungurahua en las calles Avenida Manuelita Sáenz y Agramonte.

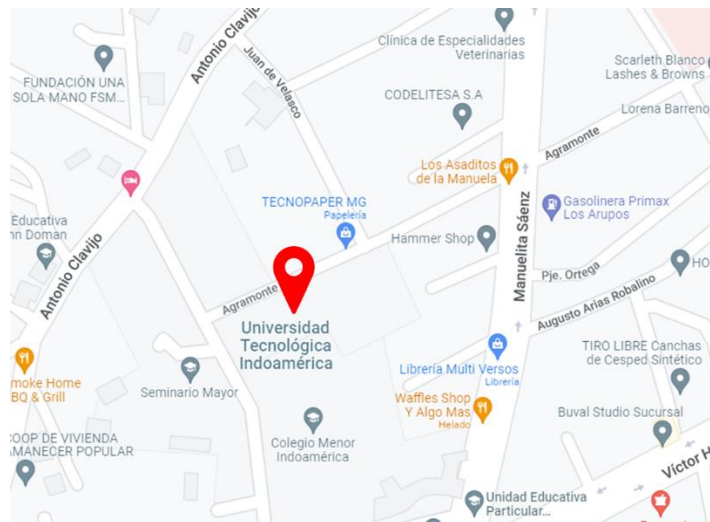


Imagen 1: Ubicación de la Universidad Tecnológica Indoamérica

Fuente: Google maps (2022)

La Universidad Tecnológica Indoamericana tiene ofertas académicas de nivel y posgrado en las maneras presencial, semipresencial, a distancia y online. Cuenta con 8 facultades de enseñanza en las cuales cuenta con 14 laboratorios en los que se imparten conocimientos técnicos y experimentales para el correcto aprendizaje de todos los alumnos universitarios.

Análisis de la necesidad

Para poder medir la necesidad de disponer de estos dispositivos en la universidad se ha creado una encuesta pudiendo recabar datos sobre el conocimiento de este nuevo sistema microfluídico para separar líquidos dentro de la Facultad de Ingeniería y Tecnología de la Información y la Comunicación (FITIC). La encuesta se ha aplicado a los estudiantes de la FITIC,

Para este propósito se estructuraron las siguientes preguntas:

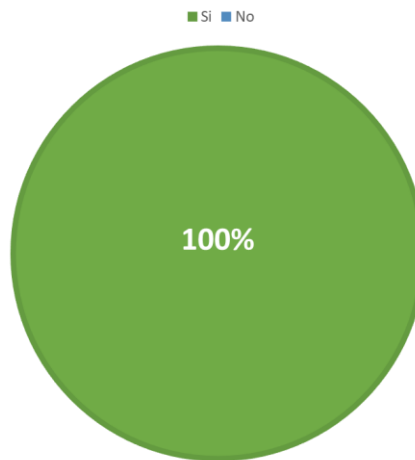
1. ¿Es estudiante de la facultad de ingenierías y tecnologías de la información y la comunicación de la Universidad Tecnológica Indoamérica?
2. ¿Qué semestre se encuentra?
3. ¿Qué carrera estudia?
4. ¿Ha visto en clases comportamientos de fluidos?
5. ¿Sabe sobre algún método de separación de líquidos?
6. ¿Ha experimentado o estudiado sistemas a nano escala?
7. ¿Creé usted que en la facultad se necesita dispositivos para evaluar o estudiar fluidos?
8. ¿Ha escuchado de los sistemas microfluídicos?
9. En caso de a ver escuchado o estudiado microfluídica. ¿Qué le llama la atención de este sistema?

Cálculo de población

En la universidad tecnológica Indoamérica en la carrera de ingeniería industrial hay 540 estudiante de los cuales 27 estudiantes contestaron o sea solo el 5% de los alumnos contestaron la encuesta.

Resultados de la encuesta

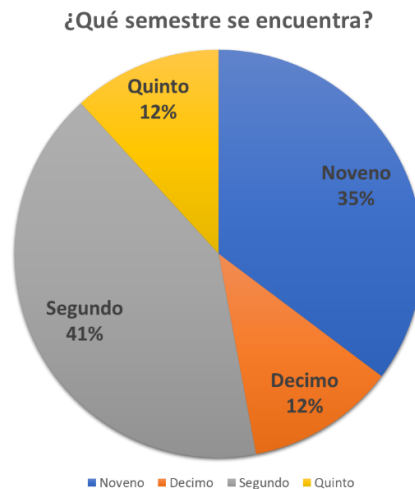
¿ES ESTUDIANTE DE LA FACULTAD DE INGENIERÍAS Y
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN DE
LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA?



Grafica 1: Resultado de respuesta 1.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

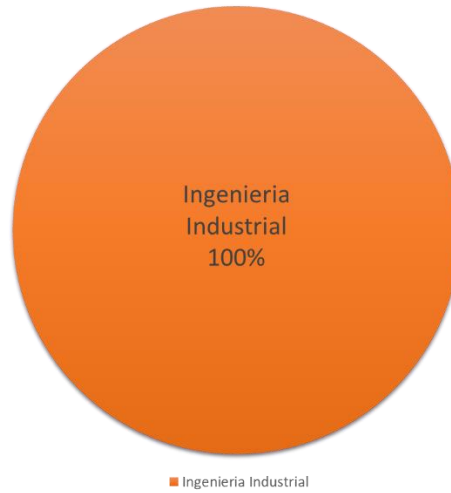
En la encuesta realizada contestaron solo los estudiantes pertenecientes de la facultad de ingenierías y tecnologías de la información y la comunicación de la universidad Tecnológica Indoamérica.



Grafica 2: Resultado de encuesta pregunta 2.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

¿Qué carrera estudia?

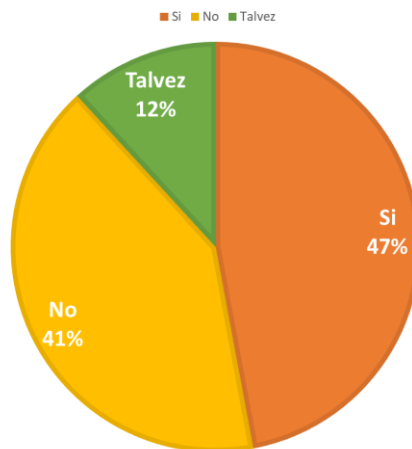


Grafica 3: Respuesta de pregunta 3.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Todos los encuestados son de la carrera de ingeniería industrial, ya que es la carrera que dentro de su malla de educación tienen materias dirigidas a el estudio de comportamiento de líquidos y fluidos.

¿HA VISTO EN CLASES COMPORTAMIENTOS DE FLUIDOS?

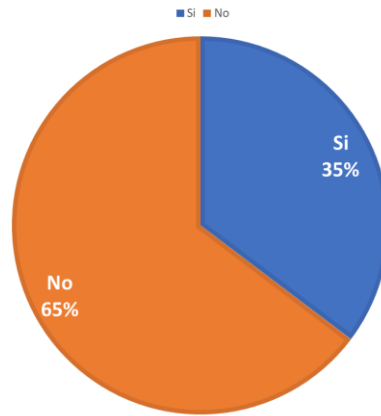


Grafica 4: Respuesta de pregunta 4.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

En la pregunta número 4, a través de la encuesta, la mayoría de los estudiantes del FITIC de la carrera de ingeniería industrial mediante los alumnos encuestados se encontró que el 47.1% había visto algo sobre el comportamiento de los líquidos, el 41.2% nunca lo había visto y el 11.8% no tenía idea sobre el tema o creer que no ha visto algo.

¿SABE SOBRE ALGÚN MÉTODO DE SEPARACIÓN DE LÍQUIDOS?

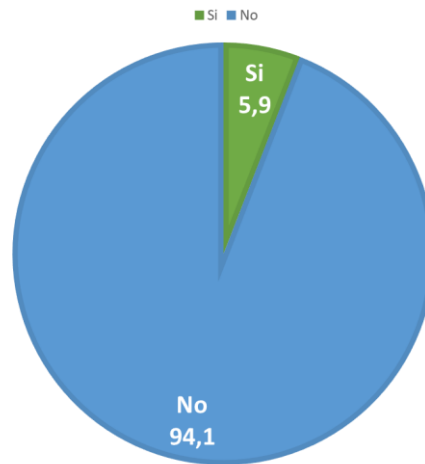


Grafica 5: Respuesta de pregunta 5.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

El 35,3% de los alumnos encuestados saben sobre cualquier procedimiento de separación de líquidos en lo que el 64,7% no posee iniciativa sobre un procedimiento para dividir líquidos.

¿HA EXPERIMENTADO O ESTUDIADO SISTEMAS A NANO ESCALA?

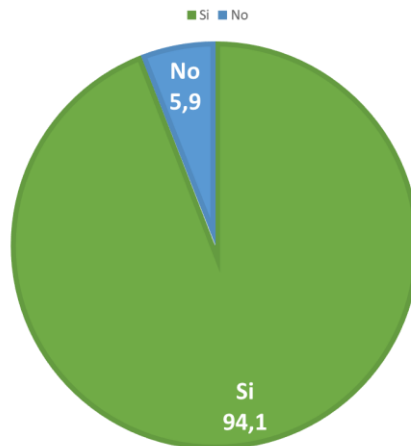


Grafica 6: Respuesta de pregunta 6.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Los estudiantes de la FITIC, 5,9% han estudiado sistema a nano escalas ya hecho experimentos dentro de los laboratorios y un 94,1% no están enterados del tema.

¿CREÉ USTED QUE EN LA FACULTAD SE NECESITA DISPOSITIVOS PARA EVALUAR O ESTUDIAR FLUIDOS?

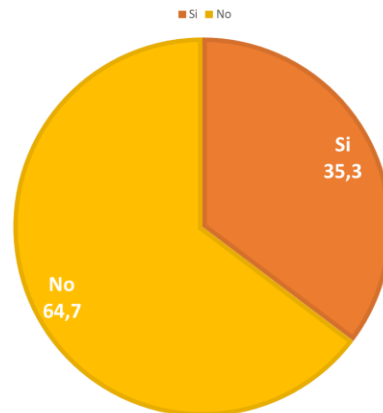


Grafica 7: Respuesta pregunta 7.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Para lo cual los estudiantes en su mayoría con un 94,1% cree que se necesita de un dispositivo para separar líquidos y evaluar los comportamientos de estos. El restante cree que no es necesario dispositivos para evaluar o estudiar fluidos.

¿HA ESCUCHADO DE LOS SISTEMAS MICROFLUIDICOS?



Grafica 8: Respuesta pregunta 8.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

La base del estudio de los sistemas microfluídicos dentro de este proyecto es esencial para lo cual se necesita saber si los estudiantes conocen sobre dicho sistema para lo cual los estudiantes de la facultad de ingenierías y tecnologías de la información y la comunicación en un 64,7% no ha escuchado ni ha estudiado sistemas microfluídico mientras que el restante ha escuchado cosas básicas sobre sistemas microfluídico.

Mediante la tabulación de datos podemos identificar el conocimiento de fluidos y sistemas microfluídicos, los cuales podemos evidenciar que no abarca temas de estudio dentro de universidad sobre dichos sistemas microfluídicos para lo cual los estudiantes tienen poco conocimiento de su funcionamiento y sus principales características ventajosas que tienen estos dispositivos. Implementando en dicha facultad para que se pueda hacer el estudio de análisis de fluidos para la separación de líquidos para que el estudiante de la universidad tenga una mayor capacidad de estudio y mayor entendimiento sobre la separación de líquidos: cuál es su funcionamiento, cuáles son sus objetivos y las ventajas que tiene el dispositivo mediante el sistema microfluídico.

Dentro de la Universidad Tecnológica Indoamérica y dentro del país estas tecnologías se están estudiando para poder entender su funcionamiento ya que ha demostrado grandes características ventajosas al momento de estudiar fluidos tanto de separar cómo de mezclar para lo cual mediante sus micro canales por donde recorre los fluidos por su diseño para separar los líquidos, podemos observar los grandes resultados que obtenemos al momento que las partículas de los fluidos se separan y con esto podemos trabajar con mayor eficiencia y eficacia al momento de tener los resultados esperados de los líquidos.

Se realizó una matriz de la casa de la calidad para el correcto proceso de producción para el separador de líquidos microfluídico como se muestra a continuación

1. REQUERIMIENTOS DE LOS CLIENTES		Pequeña unidad de control de fluidos	Cantidad de líquido uso	Costo de materiales	Conductividad térmica del material	Tiempo de creación de prototipos	Costo de fabricación	Transparencia	
1	Resistente a caídas	4	3	1	1	3	3	1	
2	Bajo costo	5	9	1	3	9	9	0	
3	Tamaño pequeño (cabe en el)	5	9	0	0	0	1	0	
4	Fácil de usar	3	3	3	0	39	0	1	
5	Alto número de usos	2	3	0	3	1	0	0	
6	Funciona de manera efectiva	5	9	3	0	1	9	9	
7	Capaz de controlar los líquidos	3	3	0	9	0	3	0	
8	Rápido proceso	5	9	0	9	3	0	3	
9	Fácil de fabricar	4	1	3	0	9	0	0	
10	Resultados instantáneos	4	3	0	3	1	1	1	
EVALUACION DE IMPORTANCIA	ABSOLUTA		232	45	109	236	120	71	83
	RELATIVA (%)		40	8	19	41	21	12	14

Imagen 2: Casa de la calidad.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

En la cual podemos relacionar a las necesidades con la capacidad de creación de un dispositivo microfluídico para separar líquidos.

Análisis comparativo de sistemas separadores de líquidos

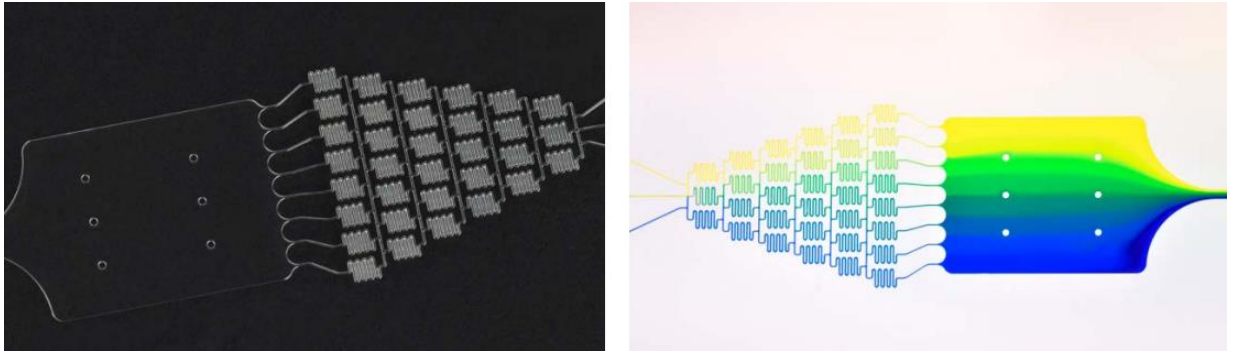


Imagen 3: Diseño de catálogo.

Fuente: (ChipShop 2022).

Cómo podemos observar en la Imagen 5 tenemos un precio estimado de un sistema microfluídico similar al que se va a proponer de 36.20\$, a nivel internacional aún es escaso encontrar dispositivos microfluídicos a la venta ya que aún se están realizando estudios de los mismos para lo cual pocas empresas se han arriesgado a sacar una línea reproducción sobre los mismos por ello es escasa la venta de dispositivos microfluídico para separar líquidos teniendo en cuenta que nuestro país aún no existe ningún punto de venta (Catalogue 2013).



Imagen 4: Diseño de catálogo.

Fuente: Chip Shop (2022).

Sin embargo, podemos identificar que los precios varían según su diseño y funcionalidad ya que el precio aumenta según sus características al igual el número de

dispositivos que se adquiere en este caso tenemos un precio por unidad de 42, 20 € en la cual su esquema es un generador de gotas para separar líquidos en este caso se obtiene en dos diferentes materiales topas y PC teniendo el mismo valor los dos.

Mediante estas guías podemos darnos una idea clara que el mercado para los sistemas microfluídicos no están extenso para lo cual en la Imagen 7 podemos identificar los puntos dentro del mundo a donde se han vendido más sistemas microfluídicos.



Imagen 5: Mercado de dispositivos microfluídicos.

Fuente: Insights (2019)

En la cual podemos ver que el tamaño de mercado dispositivos microfluídico tiene una gran acogida en América del Norte en el año 2018 en la cual se ha vendido 1.86 mil millones de dólares en la totalidad de venta de los dispositivos esto fue realizado en un estudio para la creciente de mercado hasta el 2026 (Insights 2019), en la cual se puso un pronóstico que emerger a dominante en el mercado durante el período siguiente esperando la creciente en los próximos años.

En las cuales se ha podido identificar que la mayoría de las personas optan por microchips ya que se puede tener alcance y transportar de manera fácil y adecuada solucionando grandes problemas en instantes teniendo un laboratorio completo al alcance de nuestras manos en el área microfluídico para separar líquidos por lo cual el

dispositivo tiene una gran aceptación por su eficiencia y eficacia al momento de dar los resultados.

Realizando un análisis dentro de nuestro país para poderlos adquirir tenemos que irnos a mercados internacionales para lo cual sería un mayor costo para la adquisición de dicho dispositivo en la cual proponemos realizar un dispositivo microfluídico para separar líquidos a un menor costo que accesibilidad para la facultad de ingeniería y tecnologías de la información y la comunicación de la Universidad Tecnológica Indoamérica.

Área de estudio.

Tabla 1: 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 separar líquidos, para el entorno de la educación de los estudiantes de la Universidad Tecnológica Indoamérica
Objetivos	Diseñar y desarrollar un sistema de microfluídico para separar líquidos
Periodo de análisis	2022

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Modelo operativo

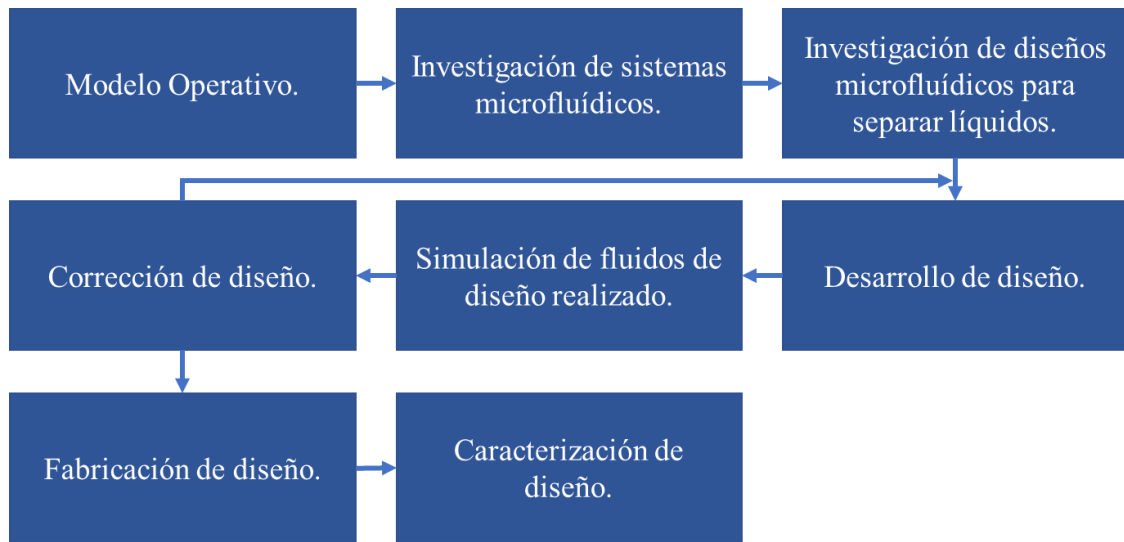


Imagen 6: Modelo operativo.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Cómo primera instancia realizamos una indagación amplia sobre los sistemas microfluídicos, tanto su funcionalidad, como su efectividad, basándonos en precedentes. Investigamos la funcionalidad del diseño que poseen dichos dispositivos con sus propiedades y sus características, que le hagan ser un sistema microfluídico en los canales que se les estima por su diseño.

Se hace el desarrollo de diseño por medio del programa SolidWorks, dentro del margen de la indagación de diseño, más adelante se hace una simulación del diseño diseñado para ver su funcionalidad de líquidos que tiene el dispositivo.

En caso de haber fallos dentro de la simulación se debe proceder hacer correcciones del diseño para que nuevamente se puede hacer una simulación, hasta que el diseño cumpla con su funcionamiento correcto.

Con diseño establecido y revisado se procede a fabricar, para lo cual se realiza un análisis de materiales revisando su idoneidad para mecanizarlo. Sobre todo, que sea compatible con las herramientas CNC. Y que brinde las características de superficie y rugosidad.

Con el dispositivo fabricado se realiza una caracterización completa, esto incluye el análisis de rugosidad, el análisis por imagen en de la forma de sus canales, disposición de puertos de entrada salida, sellado de los acanales.

Aplicación del mapa operativo

Mediante el mapa operativo tenemos un proceso puntual lo cual nos permite un orden eficaz para obtener los objetivos dentro de los cuales, llevaremos conjuntamente con softwares idóneos para la creación, conjuntamente la aplicación para la fabricación del dispositivo nos con lleva para poder caracterizar mismo dispositivo que se describe en los próximos capítulos.

CAPÍTULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Presentación de la propuesta:

Los dispositivos de micro fluidos no están disponibles en el país. Esta propuesta planea resolver ese problema mediante la creación de un dispositivo que se puede usar para mezclar y crear gotas en un sistema de micro fluidos. La idea es utilizar las herramientas y materiales disponibles en el entorno e incluso utilizar el equipo en el laboratorio para generar un dispositivo fácil de usar que el usuario final pueda manipular.

Los procesos de micro fabricación utilizan métodos, técnicas y análisis familiares. La única diferencia está en la herramienta utilizada; en lugar de usar fotolitografía, se usa un láser o una fresadora, en lugar de usar un perfilómetro, se usa un microscopio basado en cámara.

Las propuestas incluyen diseño, simulación, fabricación, caracterización y prueba de dispositivos. Además, se incluye como sugerencia general el uso de estos dispositivos como elementos listos para el laboratorio para proyectos de capacitación en dinámica de fluidos.

A continuación, para cada fase del trabajo realizado en esta propuesta, incluidos los conceptos básicos utilizados para calcular la forma y el comportamiento del fluido, caracterizar el proceso de fabricación y realizar pruebas de rendimiento de dispositivos microfluídicos, explicaré los pasos en detalle.

Diseño de un separador de líquidos

Materiales del dispositivo: Para la fabricación de los dispositivos se utilizaron dos materiales: Acrílico y PDMS. Son idóneos por sus componentes en especial por su transparencia el cual nos permite visualizar de una manera adecuada el proceso para la obtención de resultados.

La lámina acrílica es un material termoplástico, extensamente usado por su estética y alta claridad, considerado como el mejor de todos los plásticos transparentes con el propósito de ser utilizados a la intemperie (ACRILUX 2018).

PDMS es un polímero de alta resolución flexible, ópticamente transparente y biocompatible. Se pueden lograr resoluciones de unas pocas micras. Asentamientos nanométricos utilizando procedimientos estándar, aunque se requieren instalaciones de sala limpia para la fabricación de moldes. A resoluciones muy altas, la técnica de creación rápida de prototipos ha permitido el desarrollo de una revolucionaria tecnología de fundición de réplicas que logró resoluciones de menos de 15 nm. Se hace la construcción en PDMS ya que tiene varios beneficios y es económico para la construcción del dispositivo (Preetam et al. 2022).

SolidWorks: Para el diseño se utilizó el software SolidWorks por la perfecta integración de todas las aplicaciones que elimina la necesidad de importar, exportar, traducir, convertir, reconstruir o reparar datos, ahorrando tiempo en muchas áreas y promoviendo un enfoque simultáneo para el desarrollo y la fabricación de productos. (Paper 2018)

Diseño: Las cualidades de la microfluídica es que el diseño cuenta con micro canales ya que por sus dimensiones permite separar o mezclar las partículas de los fluidos. Para que un dispositivo sea considerado un sistema microfluídico, debe tener un diámetro máximo de 500 micras de diámetro de los canales para que de esta forma se puedan compactar mejor las moléculas y a través de sus composiciones se pueda lograr una fluidez de mezcla o separación.

Flujos compresibles isotérmicos: Consideramos un flujo isotérmico bidimensional entre dos placas paralelas de longitud L , separadas una distancia h , donde $L/h \gg 1$. El flujo se sostiene por una caída de presión desde la entrada (i) hasta la salida (o) del canal ($\Delta P = P_i - P_o$). Dado que el espesor del canal h es fijo, la ecuación de conservación de la masa se puede simplificar como:

$$\rho_i u_i = \rho_o u_o \quad (2)$$

Donde ρ y u denotan la densidad y la velocidad promedio del canal, respectivamente. La ecuación de cantidad de movimiento en la dirección de la corriente da como resultado.

$$(P_i - P_o)h - 2L\tau = M(u_o - u_i) \quad (3)$$

La presión, la densidad y la velocidad se promedian a lo largo del canal en las respectivas ubicaciones a lo largo de la corriente. El esfuerzo cortante (indicado por τ) también se promedia, pero a lo largo de la dirección de la corriente. El caudal másico (por unidad de ancho de canal) se denota por M .

Numero de Reynolds: Una vez que la rapidez de un fluido que se mueve en un tubo excede un cierto valor crítico que es dependiente del fluido y del diámetro del tubo, la naturaleza del flujo se vuelve bastante compleja sin embargo se ha demostrado que un valor de 2000 es un flujo laminar y un valor de 3000 es un flujo turbulento (Torres 2012).

Chips: El diseño del chip define la funcionalidad y la sucesión de actividades que se llevarán a cabo dentro del dispositivo y es dependiente de las operaciones que se deseen integrar dentro del sistema (Chango 2017).

Para lo cual se diseñó dos dispositivos, cabe resaltar que el sistema es el mismo en ambos dispositivos que poseemos de diferentes modelos para obtener un flujo turbulento, lo cual nos posibilita que nuestro artefacto funcione de manera correcta separando los líquidos como se indica a continuación:

Superficie: La humectación de superficies sólidas por líquidos se puede aprovechar en la microfluídica para determinar vías definidas con precisión en función de los gradientes de tensión superficial y los diferentes tipos de superficies, es decir, hidrofóbicas o hidrofílicas. Esto se puede lograr mediante contaminantes reactivos o control térmico. La humectación también puede afectar el flujo y el rendimiento de los dispositivos MEMS al alterar su respuesta mecánica o incluso bloquear los canales de flujo. Aunque existen descripciones macroscópicas de la humectación, no abarcan completamente los efectos de la histéresis (Dussan, 1979; deGennes, 1985), la formación de capas y la propagación de monocapa (Heslot et al., 1989; Jin et al., 1997).

Diseño 1

El diseño 1 que se presenta en la Imagen 9, consta de dos ramales, que tienen como función separa líquidos mediante obstáculos geométricos, también incluye un puerto de entra y uno de salida. El propósito de realizar en dos ramales se debe a que la presión de entrada de los fluidos se divide, de esta manera el ingreso del líquido tendríamos una división.

Las dimensiones del dispositivo se deben a que el líquido tiene que seguir otro camino. En la misma situación tenemos una entrada y una salida de 3 mm de diámetro que desembocan en un conducto. Todos los canales del dispositivo tienen un diámetro de 0,5 mm. Se dividen en dos ramas de 1,3x1,5 mm y constan de 3 niveles de complejidad geométrica. El primer obstáculo tiene cuadrados con un espacio de 0,8 mm entre ellos por los que debe circular el líquido para llegar al segundo obstáculo. Obstáculos La forma de rombo deja una distancia menor que la anterior, siendo cada rombo de 0,71, pasando luego a un tercer obstáculo rectangular de las mismas dimensiones que el primer obstáculo, como se muestra en la Imagen 10, son división semejantes para conformar un flujo turbulento, ponemos obstáculos para que los fluidos formen un flujo turbulento, para más adelante pasar a los depósitos de toma de muestras que miden 0,1

mm después poseemos la salida de fluido como se muestra en la Imagen 9 y 10, todo el modelado tiene una profundidad de 0,25mm.

Para este diseño partimos del triángulo de Floyd la cual es una sucesión de números que se extiende gradualmente, comenzando en una esquina basado en estas propiedades nace el triángulo de Pascal esta lógica cumple el juego Plinko, el cual tiene obstáculos tomando diferente rumbo las circunferencias insertadas, fusionando los obstáculos del juego y el teorema del triángulo de Floyd la cual se representa con la formula $n(n^2 + 1)/2$, creamos el diseño de la Imagen 9.

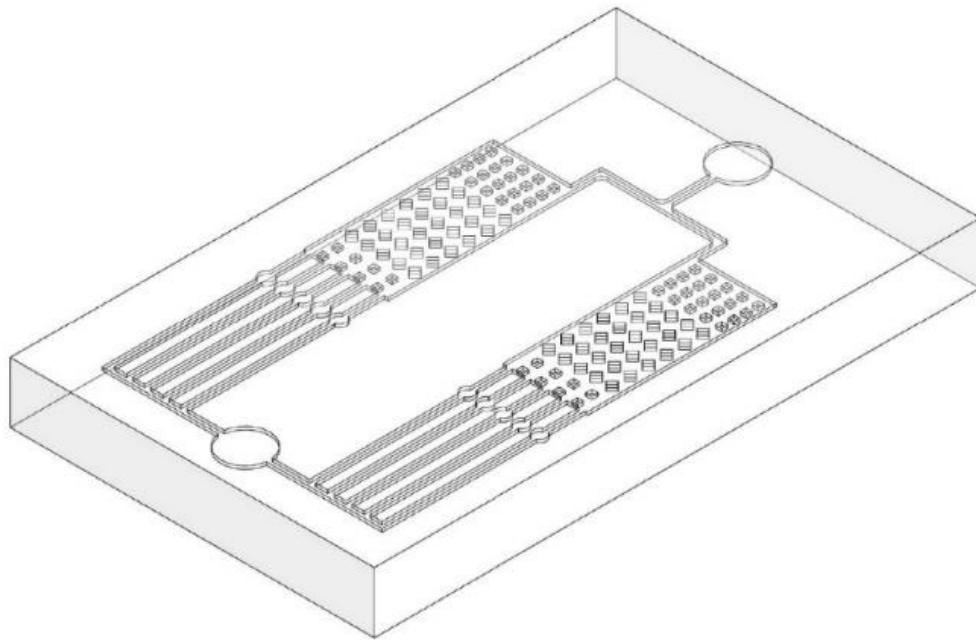


Imagen 7: Diseño 1 (3D).

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Cada ramal cuenta con dos tipos de estructuras a modo de filtros donde el líquido se va separando.

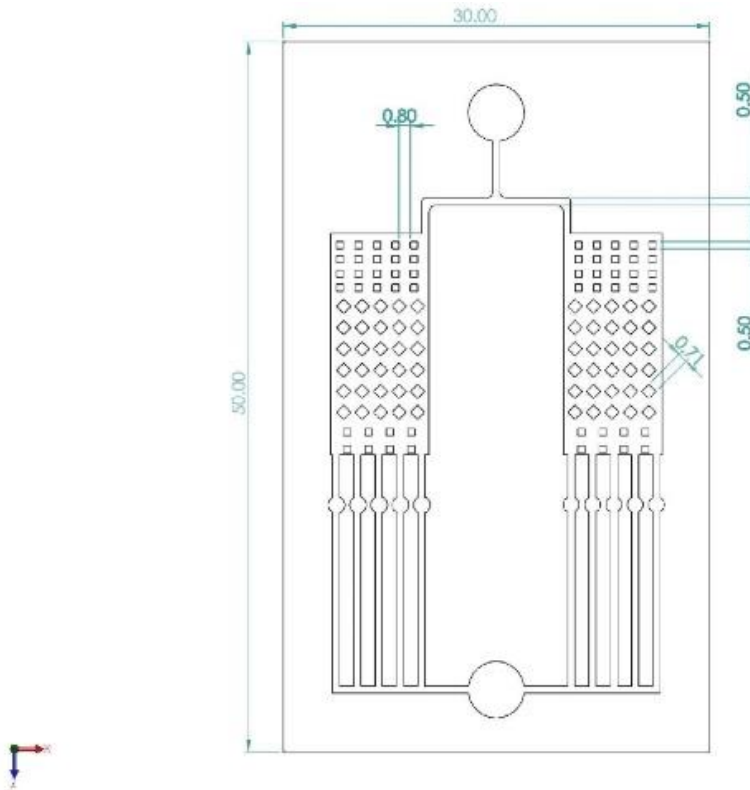


Imagen 8: Diseño 1 (2D).

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Una de las primordiales propiedades para tener un flujo turbulento está en la alteración de velocidad, lo cual nos posibilita obtener tal comportamiento en los fluidos.

Para comprobar que cumple con un flujo turbulento, realizamos una simulación de flujo como se muestra en la Imagen 11.

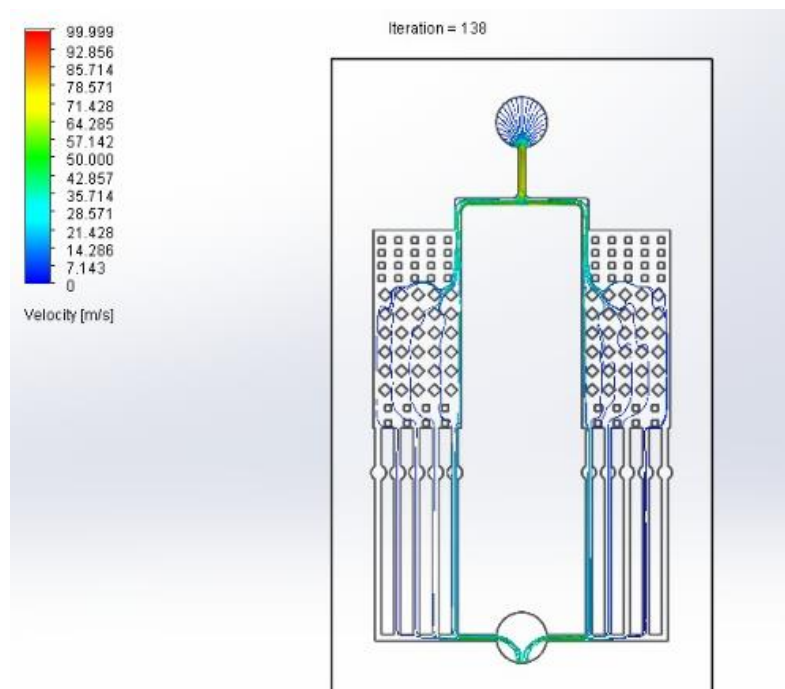


Imagen 9: Simulación de diseño 1.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Esta simulación (Imagen 11) da una buena idea del comportamiento del flujo de fluidos en la estructura. A través de esta simulación, podemos ver que el líquido no fluye por toda la estructura. En la salida podemos ver que no se dispensa líquido al último canal. En la primera parte del diseño, podemos ver el impacto de los obstáculos en la penetración. Después de pasar el segundo obstáculo en forma de diamante, el líquido comienza a expandirse, pero la mayor parte del líquido va en línea recta, aumentando la concentración de líquido desde la salida del canal 1, y todo progresa lentamente.

Diseño 2

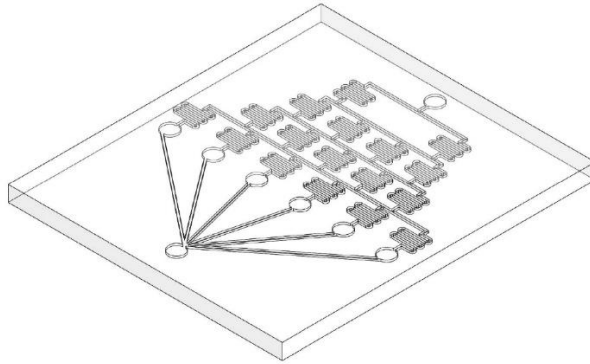


Imagen 10: Diseño 2 (3D).

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

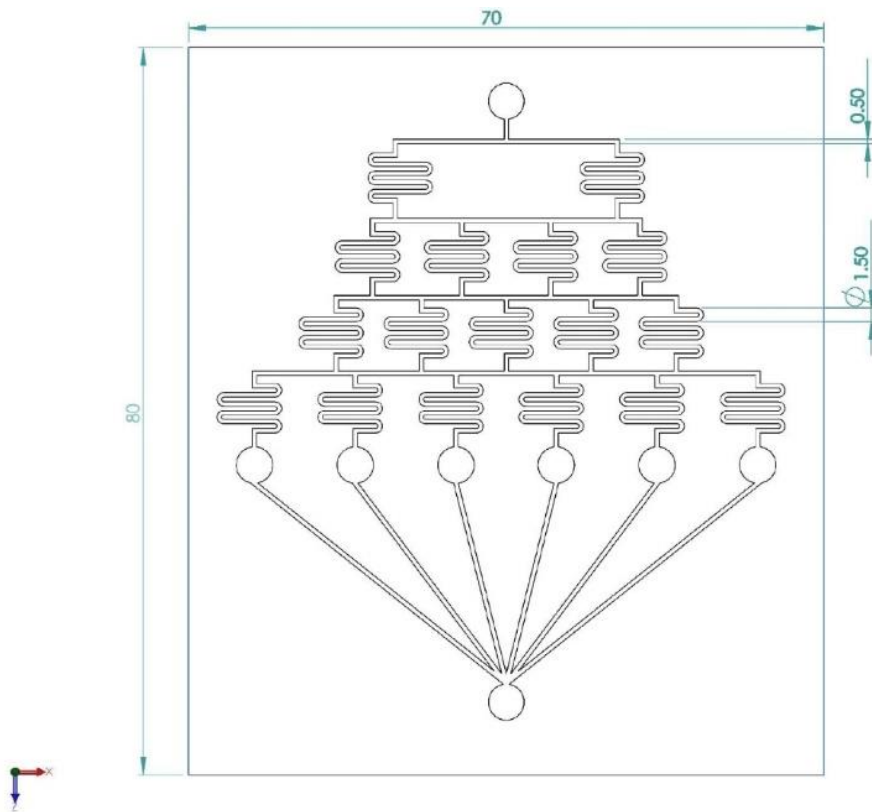


Imagen 11: Diseño 2 (2D)

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Para este diseño se dispone de 70 mm de ancho x 80 mm de largo, el enfoque sistemático se puede ilustrar con un generador de gradiente en forma de árbol que consta de depósitos, canales y uniones y crea perfiles de concentración lineales. La muestra se libera de su depósito personal, se dividen a medida que atraviesan el dispositivo y finalmente ingresan a la salida.

Desarrollamos modelos para canales divisores, que se caracterizan por el flujo turbulento impulsado por presión y el transporte de muestras con base en difusión molecular.

Consideramos resoluciones analíticas de flujo de fluido impulsado por presión y transporte de muestras en un canal de mezcla. Si se ignoran las zonas de acceso en la entrada del canal, el flujo de fluido se realiza enteramente dentro del canal y se rige por

la regla de la cadena con derivadas parciales: $\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial P}{\partial x}$ (Wang, Mukherjee y Lin 2006).

Donde x , y y z son coordenadas axiales, transversales y de hondura respectivamente, μ es la viscosidad dinámica del tampón, u es la rapidez axial del fluido. Aquí x , y y z son la longitud, el ancho y la hondura del canal, respectivamente.

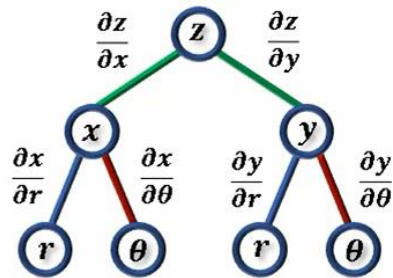


Imagen 12: Regla de la cadena con derivadas parciales.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Para lo que nos posibilita llevar a cabo un sistema creciente de menor a más grande conectados entre sí, debemos considerar como en la situación del diseño uno que debemos generar un flujo turbulento para lo que tomaremos presente la siguiente propiedad.

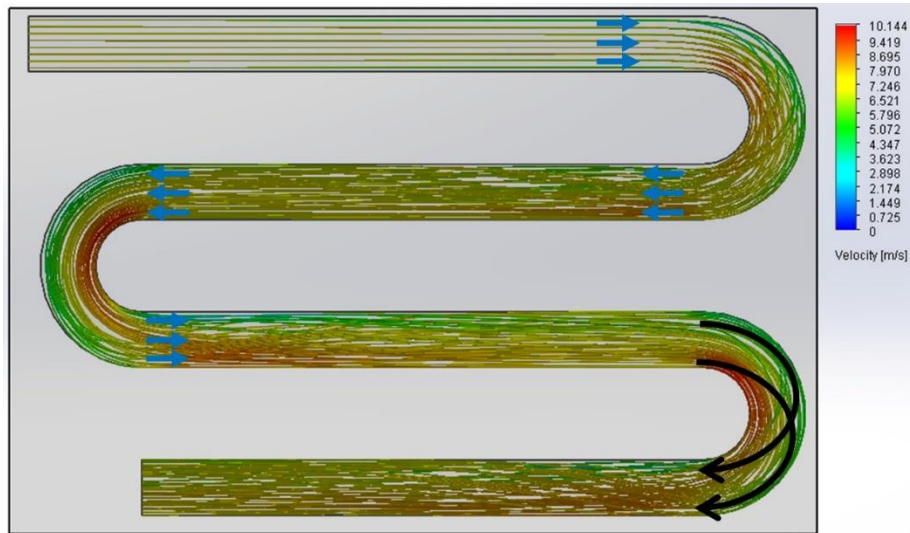


Imagen 13: Flujo de fluidos en tubería.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

El fluido ingresa al canal con una rapidez casi uniforme, mientras el fluido se mueve por medio del tubo gracias a los efectos viscosos, se adhiere a el muro del tubo, produciendo de esta forma una capa límite durante el muro del tubo en la que los efectos de los esfuerzos cortantes son relevantes, ocasionando el perfil de rapidez inicial a modificar dependiendo de la distancia del tubo en la dirección X, hasta llegar finalmente del área de ingreso, una vez que el perfil de rapidez no cambia con la distancia X, la capa límite alcanzó su espesor completo (M. Olmo 2000).

Para comprobar que los fluidos transitan por todo el diseño, realizamos una simulación de flujo y verificamos que se logre producir un flujo turbulento como se muestra en la Imagen 16.

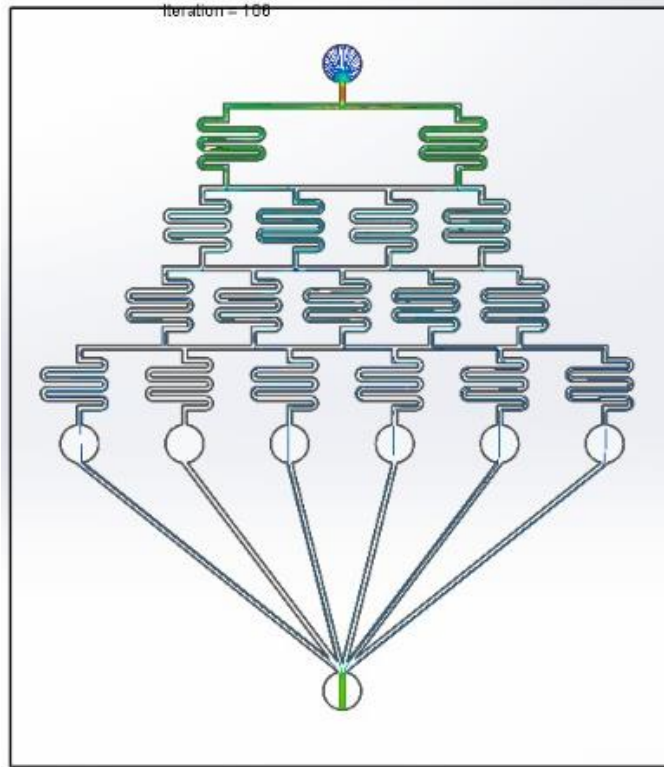


Imagen 14: Simulación de diseño 2.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Fabricación de dispositivo

Para la construcción de los dispositivos realizamos un grabado láser el cual nos posibilita tener la hondura idónea y el modelado exacto.

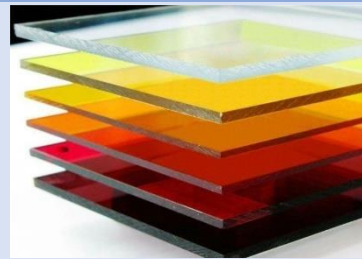
El proceso de fabricación representa el proceso mediante el cual intentamos obtener un prototipo de cada dispositivo. Para este propósito, se utilizaron materiales como acrílico transparente y elastómero de polidimetilsiloxano (PDMS) transparente. Estos materiales se utilizan más comúnmente en la fabricación de dispositivos microfluídicos.

Tabla 2: Propiedades del acrílico

ACRÍLICO		
Propiedades químicas	Propiedades físicas	

Resistente a la mayoría de los productos químicos: bases, ácidos, amonio, hidrocarburos alifáticos

- 92-95% de transmisión de luz.
- Larga vida.
- Resistente a las influencias ambientales ya los rayos UV.



Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

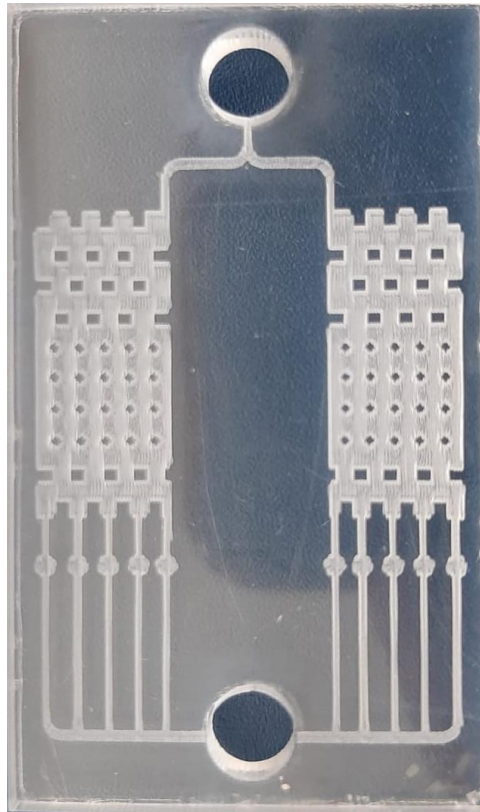


Imagen 15: *Fabricación de diseño 1.*

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)



Imagen 16: *Fabricación de diseño 2.*

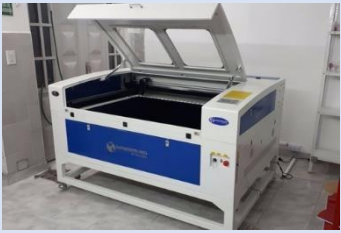
Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Grabado en láser: La tecnología de grabado láser es eficaz en estos procesos de fabricación debido a su precisión y velocidad de fabricación. Los dispositivos de los modelos 1 y 2 se crearon utilizando esta técnica de grabado láser. Estos dispositivos están destinados a ser utilizados como estructuras maestras o geometrías.

Se utiliza acrílico transparente de 3 mm de espesor como material base. Para el procesamiento del material se consideraron las siguientes propiedades del equipo:

Tabla 3 *Características de láser*

Características de mecanizado	Equipo
-------------------------------	--------

<p>Potencia de laser: 80w</p> <p>Tipo dde laser: C02</p> <p>Velosidad maxima: 700mm/seg</p> <p>Sotware diseño: adobe illustrator,</p> <p>CorelDRAW, Inscap.</p>	
--	---

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Las configuraciones que se muestran en la Tabla 4 se determinaron después de realizar múltiples pruebas de fabricación y analizar el procesamiento del dispositivo. Se analizaron la rugosidad y la precisión de la imagen del diseño del material acrílico y la forma del canal dependiendo de la potencia entregada por el láser. Una vez que se encontró un punto de equilibrio entre la velocidad de fabricación de y el rendimiento del dispositivo, ese valor se estableció y utilizó para crear nuevos dispositivos de varias versiones.

Códigos G: Son un lenguaje en el que se puede controlar a la maquina por computador dando órdenes de que hacer y cómo hacer. Para la construcción de los dispositivos se generan los siguientes códigos G que se muestran a continuación.

Tabla 4: Códigos G.

Códigos G		
<p>000%</p> <p>0001</p> <p>G54 G90 G21</p> <p>M03 S1800</p> <p>G00 X0 Y0 Z5 A00</p> <p>G01 Z0.15000 F100.0</p> <p>G00 X4.07364 Y5.05956</p> <p>G01 Z-0.01900 F1.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.82581 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.81008 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.53055 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.51482 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.23530 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.21957 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y3.94004 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y3.87852 F300.0</p> <p>G01 Z-0.03800 F1.</p> <p>G01 X4.07364 Y3.94004 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.21957 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.23530 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.51482 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.53055 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.81008 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.82581 F300.0</p> <p>X4.07364 Y5.05956 F300.0</p> <p>G01 Z-0.05700 F1.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.82581 F300.0</p>	<p>X4.07364 Y4.21957 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y3.94004 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y3.87852 F300.0</p> <p>G01 Z-0.11400 F1.0</p> <p>G01 X4.07364 Y3.94004 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.21957 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.23530 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.51482 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.53055 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.81008 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.82581 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y5.05956 F300.0</p> <p>G01 Z-0.13300 F1.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.82581 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.81008 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.53055 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.51482 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.23530 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.21957 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y3.94004 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y3.87852 F300.0</p> <p>G01 Z-0.15200 F1.0</p> <p>G01 X4.07364 Y3.94004 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.21957 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.23530 F300.0</p> <p>X4.07364 Y4.51482 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.53055 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.81008 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.82581 F300.0</p>	<p>X4.07364 Y4.81008 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.53055 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.51482 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.23530 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.21957 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y3.94004 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y3.87852 F300.0</p> <p>G01 Z-0.22800 F1.0</p> <p>G01 X4.07364 Y3.94004 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.21957 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.23530 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.51482 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.53055 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.81008 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.82581 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y5.05956 F300.0</p> <p>G01 Z-0.24700 F1.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.82581 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.81008 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.53055 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.51482 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.23530 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.21957 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y3.94004 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y3.87852 F300.0</p> <p>G01 Z-0.26600 F1.0</p> <p>G01 X4.07364 Y3.94004 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.21957 F300.0</p> <p>G01 X4.07364 Y4.23530 F300.0</p>

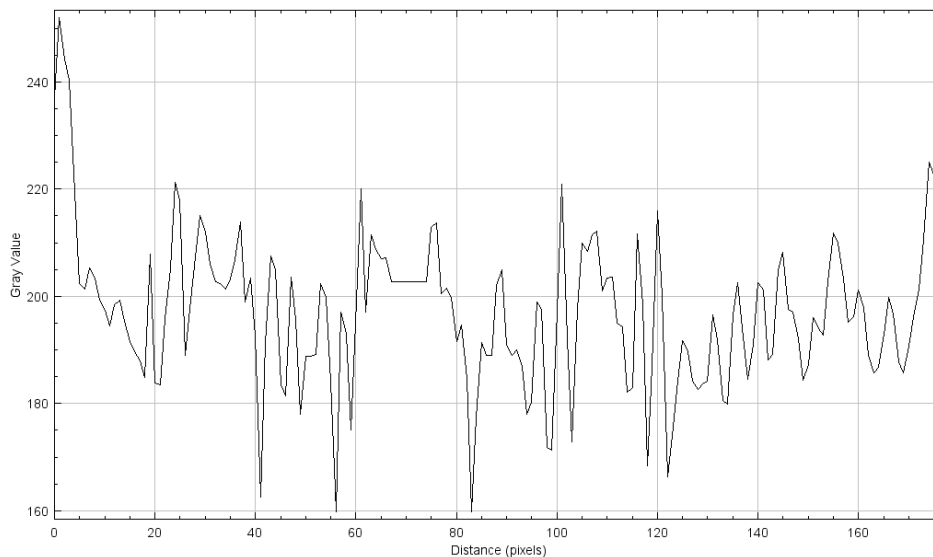
G01 X4.07364 Y4.81008 F300.0	G01 X4.07364 Y5.05956 F300.0	G01 X4.07364 Y4.51482 F300.0
G01 X4.07364 Y4.53055 F300.0	G01 Z-0.17100 F1.0	G01 X4.07364 Y4.53055 F300.0
G01 X4.07364 Y4.51482 F300.0	G01 X4.07364 Y4.82581 F300.0	G01 X4.07364 Y4.81008 F300.0
G01 X4.07364 Y4.23530 F300.0	G01 X4.07364 Y4.81008 F300.0	G01 X4.07364 Y4.82581 F300.0
G01 X4.07364 Y4.21957 F300.0	G01 X4.07364 Y4.53055 F300.0	G01 X4.07364 Y5.05956 F300.0
G01 X4.07364 Y3.94004 F300.0	G01 X4.07364 Y4.51482 F300.0	G01 Z-0.28500 F1.0
G01 X4.07364 Y3.87852 F300.0	G01 X4.07364 Y4.23530 F300.0	G01 X4.07364 Y4.82581 F300.0
G01 Z-0.07600 F1.0	G01 X4.07364 Y4.21957 F300.0	G01 X4.07364 Y4.81008 F300.0
G01 X4.07364 Y3.94004 F300.0	G01 X4.07364 Y3.94004 F300.0	G01 X4.07364 Y4.53055 F300.0
G01 X4.07364 Y4.21957 F300.0	G01 X4.07364 Y3.87852 F300.0	G01 X4.07364 Y4.51482 F300.0
G01 X4.07364 Y4.23530 F300.0	G01 Z-0.19000 F1.0	G01 X4.07364 Y4.23530 F300.0
G01 X4.07364 Y4.51482 F300.0	G01 X4.07364 Y3.94004 F300.0	G01 X4.07364 Y4.21957 F300.0
G01 X4.07364 Y4.53055 F300.0	G01 X4.07364 Y4.21957 F300.0	G01 X4.07364 Y3.94004 F300.0
G01 X4.07364 Y4.81008 F300.0	G01 X4.07364 Y4.23530 F300.0	G01 X4.07364 Y3.87852 F300.0
G01 X4.07364 Y4.82581 F300.0	G01 X4.07364 Y4.51482 F300.0	G01 Z-0.30400 F1.0
G01 X4.07364 Y5.05956 F300.0	G01 X4.07364 Y4.53055 F300.0	G01 X4.07364 Y3.94004 F300.0

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Estos códigos son una muestra ya que todos los códigos generados por la cortadora laser son extensos por lo cual se tomó una mínima parte de la programación que se obtuvo al momento de realizar la construcción del dispositivo.

Realizamos un análisis de imagen para poder comprobar la rugosidad de los canales de los dispositivos realizados.

Área de diseño 1: Por medio del programa ImagenJ analizamos la rugosidad de uno de los paneles donde se observa que su área es bastante irregular por lo cual la zona de grabado láser es bastante vasta y nos deja un área con más rugosidad lo que no ayuda para que el fluido logre circular de manera correcta.



Grafica 9: Análisis de superficie diseño 1.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Se observa en la Grafica 9 Análisis por ImagenJ. Las fibras de que componen la estructura de un terreno irregular del acabado en acrílico son visibles en los acabados del dispositivo.

Limpieza:

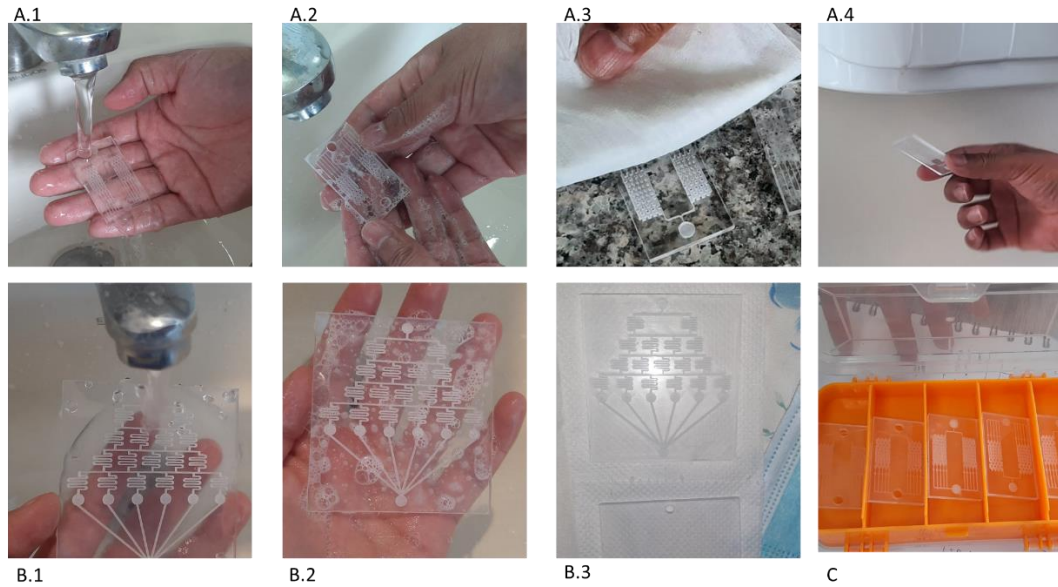


Imagen 17: Limpieza de dispositivos.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Se realiza una limpieza a fondo con abundante agua y jabón para eliminar suciedad, bacterias, etc. Enjuague con abundante agua para eliminar todo el jabón y seque el exceso de agua con papel para asegurarse de que no haya exceso de humedad. Si trabaja con nanopartículas líquidas, manténgalas secas con un secador de manos. Las partículas atrapadas en el equipo pueden interferir, por lo que debe asegurarse de que su equipo esté limpio y libre de partículas.

Recomendamos almacenar en un recipiente de plástico bien cerrado como se muestra en la Imagen 19, Parte C. De esta forma, evita que entren partículas de suciedad que contaminen el dispositivo.

Resultados esperados

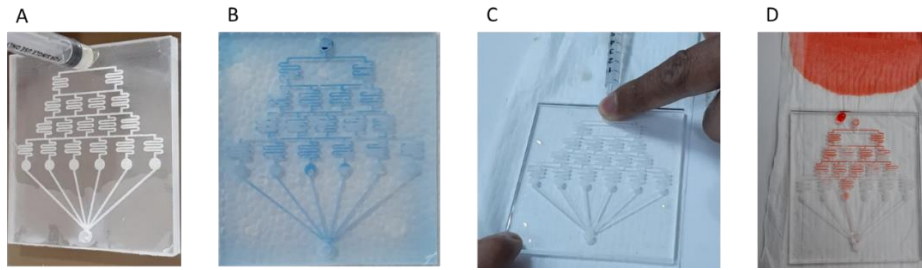


Imagen 18: Pruebas de funcionalidad.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

No se continuo con el diseño uno, ya que no se consiguió sellar de manera adecuada el dispositivo por su diseño.

Para la primera prueba, el diseño grabado con láser en el material acrílico se cubrió con otra lámina acrílica en la parte preeminente, dejando libres las entradas y salidas de nuestro dispositivo. Ambas láminas de acrílico se unieron con pegamento instantáneo, la primera opción coloco pegamento instantáneo solo los bordes (Imagen 20(A)) y en la segunda coloco a las orillas de los canales (Imagen 20 (B)), lo que no ha sido una buena alternativa debido a que presento fugas en el interior del dispositivo, dejando nula la funcionalidad del dispositivo.

Para el estudio de la funcionalidad del dispositivo se tomó el diseño 2 en acrílico de construcción láser y se cubrió en la parte preeminente con una mica de hidrogel protectora para pantallas de celulares con las medidas precisas del dispositivo debido a que es un componente que es adherente a superficies planas, sellaría correctamente todos los contornos de los canales evitando fugas como se muestra en la Imagen 20 (C)

La introducción del líquido ha sido complicada, por lo cual no teníamos un recorrido completo del líquido debido a que empezó a derramarse en el puerto a parte que se perdía presión al momento de introducir el fluido y no completo con su recorrido como se muestra en la Imagen 20 (D).

Prueba hidrofílica: De la prueba anterior la modificamos y le pusimos un puerto de ingreso así evitamos que se derrame el líquido al entrar, para los puertos utilizamos las boquillas de las agujas de inyección y sea más simple inyectar el líquido teniendo una presión adecuada como se muestra en la Imagen 21.

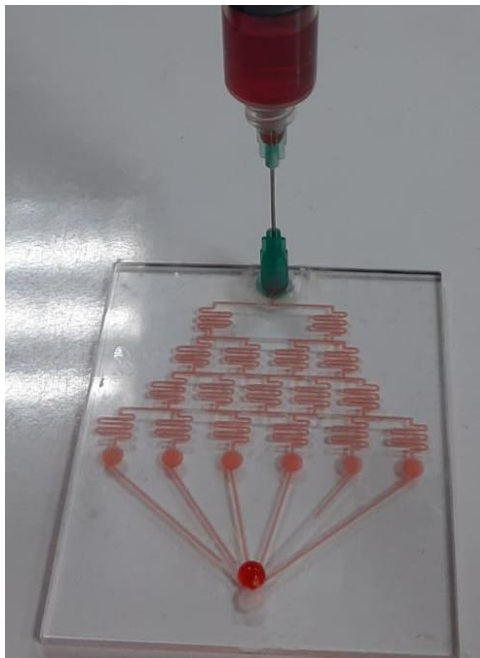
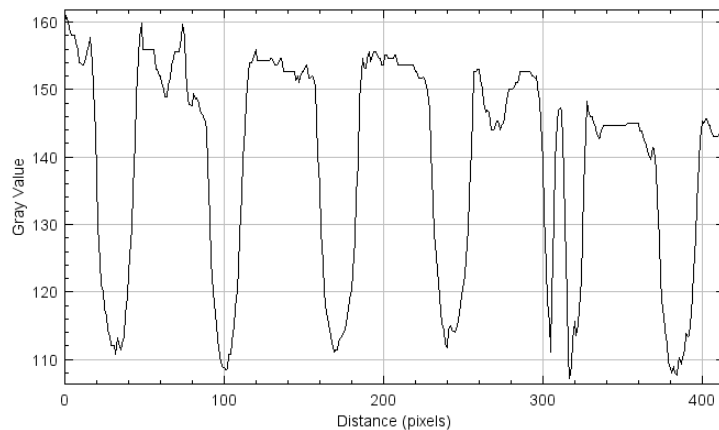


Imagen 19: Prueba hidrofílica.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Para lograr evaluar realizamos una comparativa por imagen de colorimetría para lograr mirar la alteración de color que se obtienen como se muestra a continuación:



Grafica 10: Resultados de evaluación de imagen hidrofílica.

Elaborador por: Nuñez Ariel (2022)

Podemos visualizar que tenemos una variación de color mínima pero que podemos manejar a nuestro favor.

Prueba hidrofóbica: Se colocó una capa delgada de PDMS para que la superficie pueda ser más lisa y de esta manera el fluido pueda circular de mejor manera como se muestra en la Imagen 22 se dejó secar durante 24h y se procedió a colocar la mica de hidrogel para sellar la superficie y evitar derramas se colocó un puerto de entrada como el anterior e inyectamos líquido como se muestra en la Imagen 23.

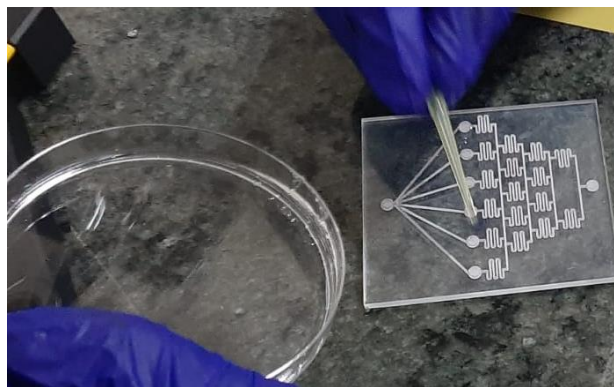


Imagen 20: Implementación de PDMS.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

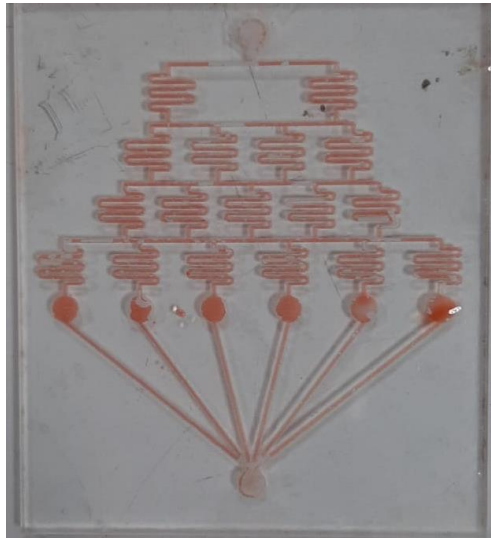
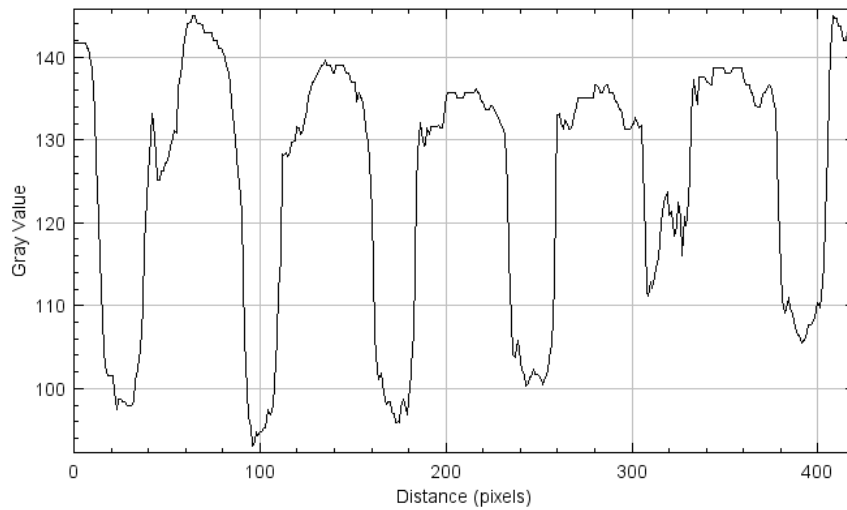


Imagen 21: Prueba de dispositivo con PDMS.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Al igual al anterior se hace una evaluación de imagen por color en la cual tenemos la posibilidad de detectar la alteración de color del mismo modo que es mínima.



Grafica 11: Resultados de evaluación por imagen hidrofóbica.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Prueba hidrofóbica e hidrofílica: Con ambos resultados logrados como se explica anterior mente realizamos una comparativa de los resultados como observamos después:

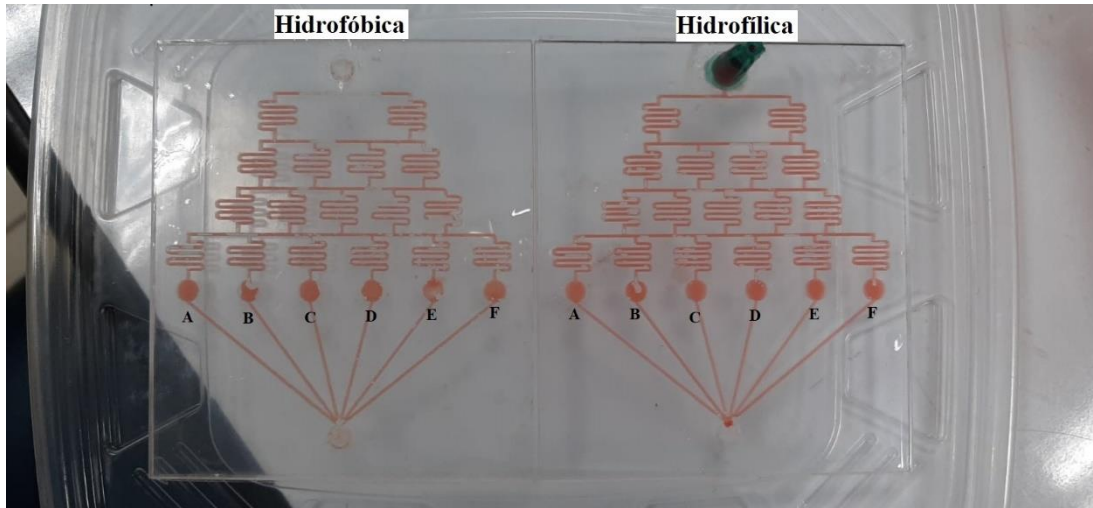
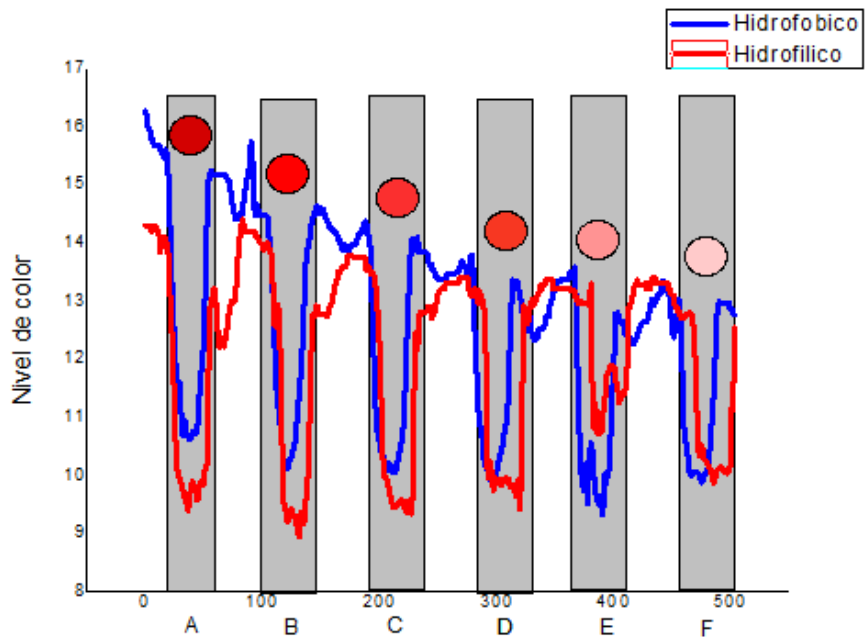


Imagen 22: Comparación de resultados hidrofóbica e hidrofílica.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)



Grafica 12: Análisis por imagen comparativo.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Llevando a cabo una comparación de ambas evaluaciones por medio de la investigación de imagen, el chip hidrofílico varia su color de una mejor forma que la de hidrofóbico, por lo que tenemos la posibilidad de ofrecer una premisa que nuestro dispositivo hidrofílico nos da un mejor resultado de división.

Prueba con aceite epoxidado de soya: Una vez comprobada la funcionalidad del dispositivo por medio de los resultados anteriores con diferencia de color, se proviene a hacer una evaluación con aceite de soya epoxidado.

Aceite epoxidado de soya: El aceite de soya epoxidado es un ingrediente esencial en las formulaciones de PVC porque actúa como plastificante y estabilizador. Está hecho de aceite de soja de alta pureza. Tiene una excelente compatibilidad con las resinas de PVC, lo que lo hace útil en una variedad de aplicaciones, tanto como plastificante como estabilizador. Dado que el anillo epoxi (óxido de etileno) reacciona con el ácido clorhídrico producido por el deterioro del PVC a altas temperaturas, su alto contenido en óxido de etileno hace necesario mantener una excelente estabilidad a la luz y la temperatura. Su baja acidez evita que los compuestos se descompongan. Actúa sinérgicamente con estabilizadores metálicos (Suministro de especialidades 2009).

Resultados de aceite epoxidado de soya: Para evaluar nos secundamos en un microscopio que nos ayudará a mirar los resultados en con mejor detalle como se muestra a continuación:

- Identificamos los depósitos que se evaluaron para obtener los resultados.



Imagen 23: Prueba de aceite de soya.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Realizamos una evaluación microscópica del canal por el cual fluye el líquido una vez que se mete en el dispositivo, obteniendo la siguiente visualización microscópica:

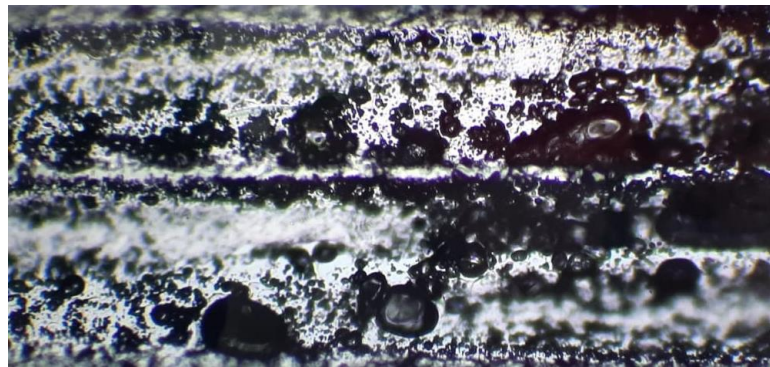


Imagen 24: Canal de dispositivo.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

El aceite está compuesto entre un 90% y un 95% de glicéridos y lo demás son fosfáticos, ácidos grasos libres, esteroides, pigmentos, vitaminas, etcétera (Кирпиченков et al. 2020).

Tenemos la posibilidad de mirar que las moléculas poseen una alteración en su tamaño, al no ser un área lisa, tenemos la posibilidad de detectar que las partículas se adhieren a los muros que la separan en un mismo canal, teniendo una alteración en la medida de cada molécula como se ve en la Imagen 26.

Evaluación de aceite epoxidado de soya en los depósitos

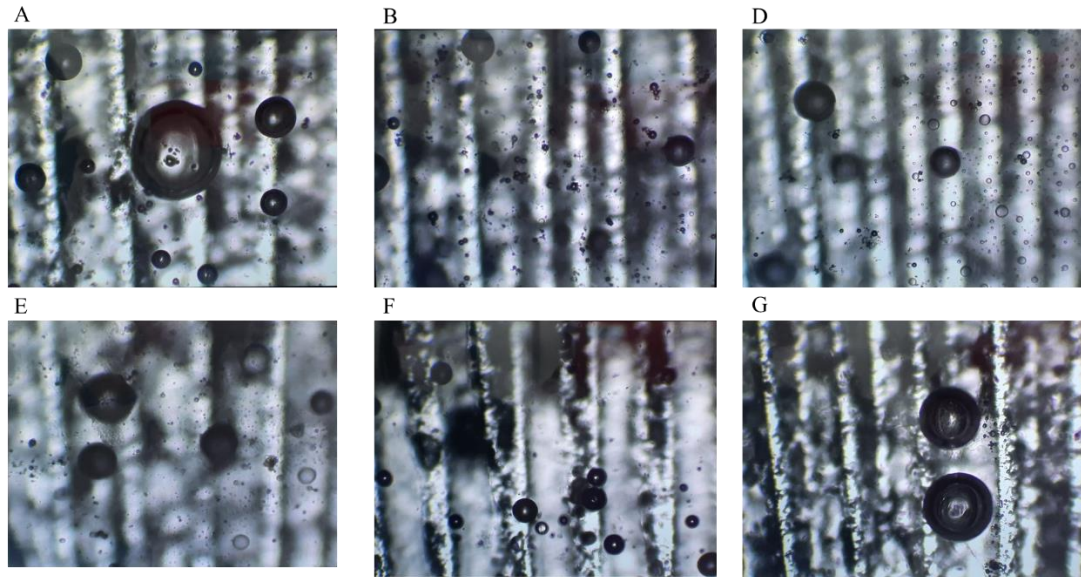


Imagen 25: Resultados microscópicos de aceite epoxidado de soya.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Tenemos la posibilidad de mirar en los depósitos A y G que las gotas de aceite de soya epoxidado poseen un tamaño más grande que las partículas de los demás depósitos. En los depósitos B y F, las moléculas son más pequeñas y tienen la posibilidad de ver restos de otras moléculas. En los depósitos D y E poseemos una curiosa visualización en la que tenemos la posibilidad de detectar gotas de agua bastante pequeñas que acompañan al aceite de soya. Solo tenemos la posibilidad de visualizar esto en los depósitos D y E.

Construcción de mesa de trabajo

Al no tener un área en los laboratorios para hacer estudio de líquidos a nano escala como los dispositivos microfluídicos, se fabrica una mesa de trabajo como se muestra específicamente para análisis de fluidos a nano escala.

Esta mesa de trabajo nos ayuda para poder observar el comportamiento de los fluidos a nano escala, se caracteriza por tener movimientos de forma manual en el eje X, Y, y Z.

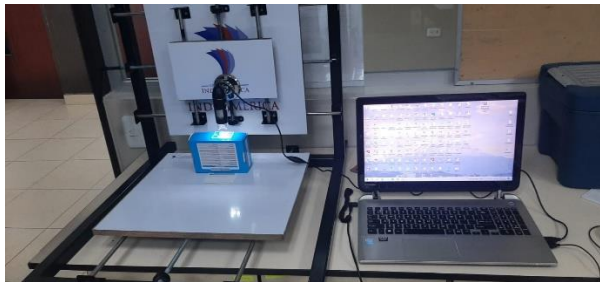


Imagen 26: Diseño de mesa de trabajo.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

Esta mesa de trabajo tiene una altura y un ancho de 60 x 60, consta de 3 mesas, la primera mesa en la parte inferior poseen un desplazamiento en el eje z, la segunda mesa se mueve en el x y una tercera mesa descansa sobre la segunda mesa, esta mesa tiene un desplazamiento en y, que nos ayuda por medio de unas palancas a poder movernos y ajustar las distancias conforme con la necesidad, encima de la tercera mesa existe una cama la cual nos posibilita hacer experimentos y por medio de una pantalla se podrá visualizar la conducta de los fluidos a nano escala.

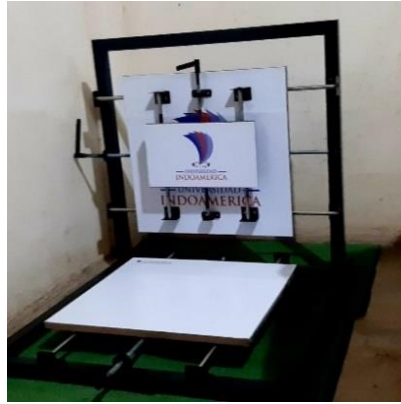


Imagen 27: Mesa de trabajo.

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

La obra de la mesa de trabajo se hizo con composición de tubo cuadrado de acero inoxidable, mesas de madera y el mecanismo de desplazamiento consta de ejes y un tornillo sin fin para cada desplazamiento.

Con esta mesa de trabajo, estudiantes, docentes e individuos que accedan a los laboratorios, van a tener un lugar específico para hacer evaluaciones, experimentos o visualizar la conducta de fluidos a nano escala de forma correcta para el conveniente aprendizaje.

Se posiciona una cámara, compatible con cualquier computadora, y gracias al movimiento de la mesa se pueden analizar sedimentos a microescala. Los movimientos de la cámara se pueden manipular de una manera adecuada que es altamente eficiente para trabajar, analizar y evaluar. Las dimensiones iguales y la construcción de acero lo hacen adaptable a otros componentes de dispositivos microfluídicos. Resultados esperados

Los dispositivos microfluídicos son dispositivos que manipulan fluidos para cumplir propósitos específicos. Estas tecnologías generalmente se crean utilizando métodos de fotolitografía y grabado, lo que significa que no se necesitan equipos robóticos ni tecnólogos en el proceso de fabricación. Los micro fluidos también pueden reemplazar

una serie de experimentos realizados en una mesa de laboratorio o requieren menos espacio porque residen en un solo cartucho.

Algunos de los principales casos de uso de estos dispositivos son la separación de mezclas de fluidos, la recolección de una cantidad muy pequeña de volúmenes de muestra y las reacciones completamente contenidas en un dispositivo pequeño. Siempre que tenga limitaciones de tiempo al trabajar con fluidos, los chips de micro fluidos pueden brindarle una respuesta.

Cronograma de actividades

La implementación de la propuesta se planifica realizarse en cuatro semanas. Las actividades incluyen tareas desde la presentación del dispositivo en la universidad hasta el seguimiento del uso de los sistemas microfluídicos en las practicas o experimentos de los estudiantes. En la siguiente tabla se muestra los detalles del cronograma de actividades planificado.

Tabla 5: Cronograma de actividades

Actividades	Semana 1					Semana 2					Semana 3					Semana 4				
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20
Actividad 1. Presentación del dispositivo de separador de líquidos para el laboratorio de la Universidad Tecnológica Indoamérica	■																			
Actividad 2. Capacitación al encargado de laboratorio y docentes que intervienen en el laboratorio	■																			
Actividad 3. Encuesta de satisfacción					■					■					■					■

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Dentro de la revisión bibliográfica se encontró diferentes diseños de separación de fluidos, todos los diseños e investigaciones realizadas tienen un sistema de reacciones químicas o con otras sustancias, es decir tienen dos entradas de diferentes líquidos, lo cual al someterlos a otras sustancias pueden perder su composición de los líquidos que se requiere realizar el estudio o análisis. Relevando la investigación realizada por Valdivia-Silva con el tema de “Desarrollo de un sistema microfluídico accesible y económico (Labonachip) para detectar células tumorales circulantes en cáncer de mama”, indica que el líquido no debe tener reaccionantes, porque puede perder su estructura dificultando su análisis.

Para la elaboración del diseño apropiado se planteó el modelo uno, que consta de dos ramificaciones basado en el triángulo de Floyd, el modelo dos se basa en la regla de la cadena con derivadas parciales. Los diseños elaborados gracias a su geometría y tensión superficial que se obtiene permiten que el dispositivo funcione, sin embargo, el diseño 1 al tener varios detalles se complica a la hora de la fabricación y sellado del mismo, por consiguiente, en el diseño 2 los detalles son más compactos, brindando un mejor sellado. En el cual este último modelo puede servir como base para futuras investigaciones.

Para la construcción de dispositivos se utilizó una cortadora laser de Co₂ con una potencia de 80w a una velocidad máxima de 700mm/s, diseñando en el software Inscap y CorelDRAW. Como materia prima se emplea el acrílico gracias a su facilidad

de corte y su compatibilidad con la mica de hidrogel, necesario para el sellado del dispositivo de separación de líquidos, sin afectar al funcionamiento del dispositivo.

Para la caracterización del producto final, identificamos que el modelo dos cumple con las expectativas de la investigación, que tiene como característica principal una estructura en forma de árbol, además consta de una entrada de líquido pasando a circuitos serpenteantes de 5 curvas, comenzando con dos circuitos hasta terminar con 6. La profundidad de los canales tiene un espesor de 0,5mm y el separador fue fabricado en acrílico de 4mm transparente.

Recomendaciones

Se propone usar este diseño como base para mejorarlo y formar con materiales hidrofóbicos que logren sustituir al PDMS, debido a que la complejidad de curado y pegado se basa en herramientas y maquinaria concretas que complican el desarrollo y construcción de dispositivos microfluídicos.

Al hacer las pruebas con aceites, se ofrece que el dispositivo cuente con imanes debido a que los aceites tienen la posibilidad de contener minerales, así tienen la posibilidad de dividir los residuos que puede llevar cualquier tipo de aceite.

Para lograr hacer cálculos matemáticos, se podrían poner sensores de presión, viscosidad, densidad, etcétera. Con la intención de tener datos numéricos precisos y mejorar matemáticamente el dispositivo variando las propiedades de los fluidos para su evaluación.

Con el diseño de la mesa de trabajo se puede automatizar, para tener un mejor seguimiento de los fluidos y poder visualizar especialmente piezas concretas de los dispositivos, o propiedades de los fluidos con más exactitud.

Bibliografía

- ACRILUX, 2018. Propiedades del acrílico. *Acrilicos Acrilux*, vol. 1, no. 02, pp. 1.
- AHRBERG, C.D., MANZ, A. y CHUNG, B.G., 2016. Polymerase chain reaction in microfluidic devices. *Lab on a Chip*, vol. 16, no. 20, pp. 3866-3884. ISSN 14730189. DOI 10.1039/c6lc00984k.
- BROWN, L., KOERNER, T., HORTON, J.H. y OLESCHUK, R.D., 2006. Fabrication and characterization of poly(methylmethacrylate) microfluidic devices bonded using surface modifications and solvents. *Lab on a Chip*, vol. 6, no. 1, pp. 66-73. ISSN 14730189. DOI 10.1039/b512179e.
- CHANGO, G., 2017. La Monitorización De Parámetros De Calidad De Aguas Mediante Métodos Potenciométricos. , pp. 67.
- CHENG, Y., LING, S. Da, GENG, Y., WANG, Y. y XU, J., 2021. Microfluidic synthesis of quantum dots and their applications in bio-sensing and bio-imaging. *Nanoscale Advances*, vol. 3, no. 8, pp. 2180-2195. ISSN 25160230. DOI 10.1039/d0na00933d.
- CHIPSHOP, M., 2022. Microfluidic ChipShop. *ChipShop, Microfluidic* [en línea]. [Consulta: 31 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.microfluidic-chipshop.com/>.
- DEL GIUDICE, F., D'AVINO, G. y MAFFETTONE, P.L., 2021. Microfluidic formation of crystal-like structures. *Lab on a Chip*, vol. 21, no. 11, pp. 2069-2094. ISSN 14730189. DOI 10.1039/d1lc00144b.
- M. OLMO, 2000. "Ecuación de Bernoulli Cálculo de Bernoulli,". *Tecdigital.Tec.Ac.Cr* [en línea], pp. 1. Disponible en: <https://tecdigital.tec.ac.cr/revistamatematica/cursos-linea/EcuacionesDiferenciales/EDO-Geo/edo-cap2-geo/node11.html%0Ahttp://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/pber.html>.
- MARK, D., HAEBERLE, S., ROTH, G., STETTEN, F. Von y ZENGERLE, R., 2010.

Microfluidic lab-on-a-chip platforms: Requirements, characteristics and applications. *Chemical Society Reviews*, vol. 39, no. 3, pp. 1153-1182. ISSN 14604744. DOI 10.1039/b820557b.

MARSCHEWSKI, J., JUNG, S., RUCH, P., PRASAD, N., MAZZOTTI, S., MICHEL, B. y POULIKAKOS, D., 2015. Mixing with herringbone-inspired microstructures: Overcoming the diffusion limit in co-laminar microfluidic devices. *Lab on a Chip*, vol. 15, no. 8, pp. 1923-1933. ISSN 14730189. DOI 10.1039/c5lc00045a.

PAPER, W., 2018. the Top Five Reasons To Switch To Solidworks for. ,

PARA, G., ELABORACION, L.A. y TESIS, D.E.U.N.A., 2016. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA. ,

PEÑAHERRERA, A., PAYÉS, C., SIERRA-RODERO, M., VEGA, M., ROSERO, G., LERNER, B., HELGUERA, G. y PÉREZ, M.S., 2016. Evaluation of cell culture in microfluidic chips for application in monoclonal antibody production. *Microelectronic Engineering* [en línea], vol. 158, pp. 126-129. ISSN 01679317. DOI 10.1016/j.mee.2016.03.059. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mee.2016.03.059>.

PREETAM, S., NAHAK, B.K., PATRA, S., TONCU, D.C., PARK, S., SYVÄJÄRVI, M., ORIVE, G. y TIWARI, A., 2022. Emergence of microfluidics for next generation biomedical devices. *Biosensors and Bioelectronics: X*, vol. 10, no. December 2021. ISSN 25901370. DOI 10.1016/j.biosx.2022.100106.

SALVADOR, B., 2019. Microlab-en-Chip para Producción de Radiofármacos para Diagnóstico PET. ,

SANTANA, H.S., SILVA, J.L., AGHEL, B. y ORTEGA-CASANOVA, J., 2020. Review on microfluidic device applications for fluids separation and water treatment processes. *SN Applied Sciences* [en línea], vol. 2, no. 3, pp. 1-19. ISSN 25233971. DOI 10.1007/s42452-020-2176-7. Disponible en:

<https://doi.org/10.1007/s42452-020-2176-7>.

SÓSOL-FERNÁNDEZ, R.E., MARÍN-LIZÁRRAGA, V.M., ROSALES-CRUZALEY, E. y LAPIZCO-ENCINAS, B.H., 2012. Análisis de células en dispositivos microfluídicos. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 11, no. 2, pp. 227-248. ISSN 16652738.

STOECKLEIN, D., DAVIES, M., DE RUTTE, J.M., WU, C.Y., DI CARLO, D. y GANAPATHYSUBRAMANIAN, B., 2019. FlowSculpt: Software for efficient design of inertial flow sculpting devices. *Lab on a Chip*, vol. 19, no. 19, pp. 3277-3291. ISSN 14730189. DOI 10.1039/c9lc00658c.

SUMINISTRO DE ESPECIALIDADES, 2009. Aceite epoxidado de soya Descripción.

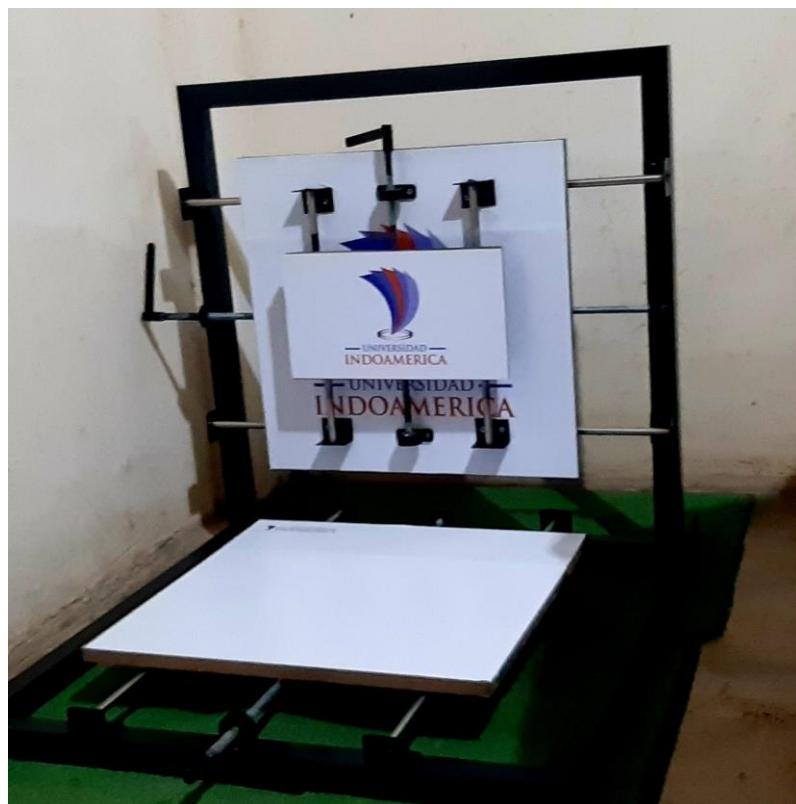
TORRES, J., 2012. Dinámica de Fluidos - Universidad de Granada. [en línea], pp. 18-37. Disponible en: <https://www.ugr.es/~jtorres/t7.pdf>.

VALDIVIA-SILVA, J., PÉREZ-TULICH, L., FLORES-OLAZO, L., MÁLAGA-JULCA, M., UBIDIA, A., FLESCHEMAN, A. y GUIO, H., 2020. Desarrollo de un sistema microfluidico (lab-on-a-chip) accesible y de bajo costo para detección de células tumorales circulantes de cáncer de mama. *Acta Medica Peruana*, vol. 37, no. 1, pp. 40-47. ISSN 1018-8800. DOI 10.35663/amp.2020.371.967.

WANG, Y., MUKHERJEE, T. y LIN, Q., 2006. Systematic modeling of microfluidic concentration gradient generators. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol. 16, no. 10, pp. 2128-2137. ISSN 09601317. DOI 10.1088/0960-1317/16/10/029.

КИРПИЧЕНКОВ, В.Я., КИРПИЧЕНКОВА, В.Я., КИРПИЧЕНКОВА, Н.В. y ЛОЗИН, О.И., 2020. Распределение Напряженности Магнитного Поля Вдоль Стационарного Джозефсоновского Вихря В Грязном S – I – S Контакте . *Известия Российской Академии Наук. Серия Физическая*, vol. 84, no. 9, pp. 1335-1337. ISSN 0367-6765. DOI 10.31857/s0367676520090185.

Anexos



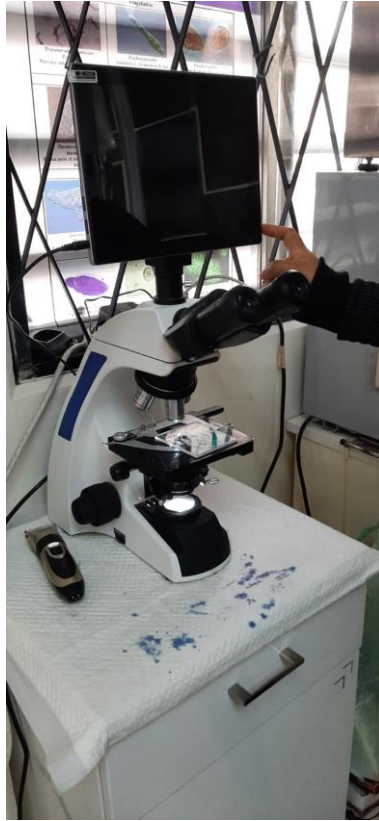
Anexos 1: Mesa de trabajo

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)



Anexos 2: Construcción de mesa de trabajo

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)



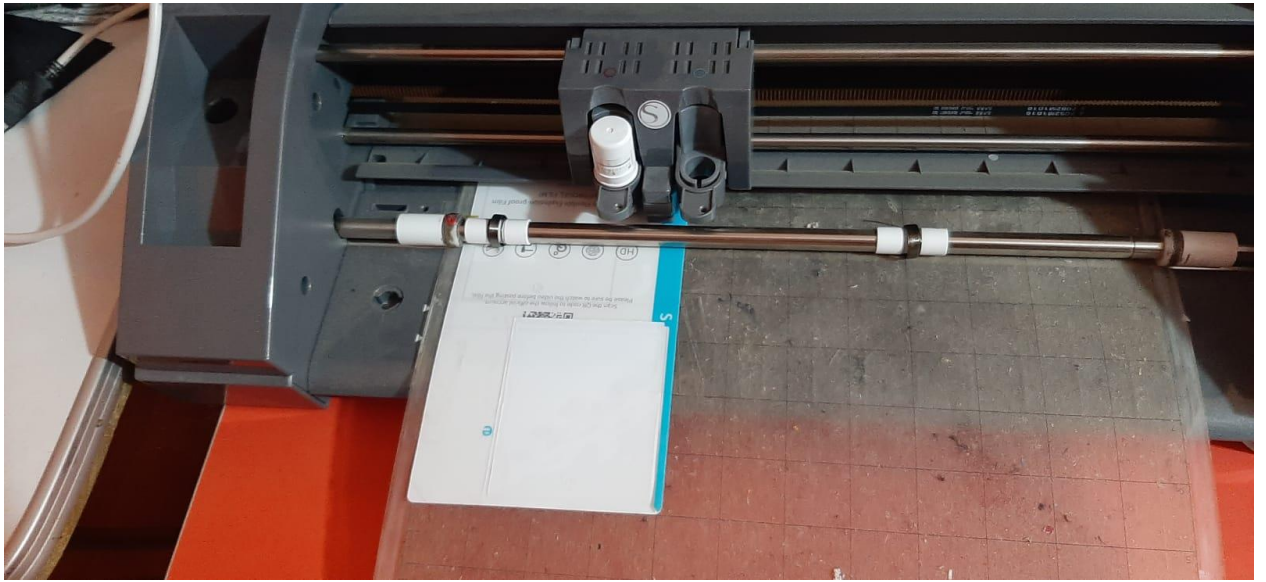
Anexos 3: Análisis de microscopio

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)



Anexos 4: Aceites utilizados para pruebas

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)



Anexos 5: Corte de mica de hidrogel

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)



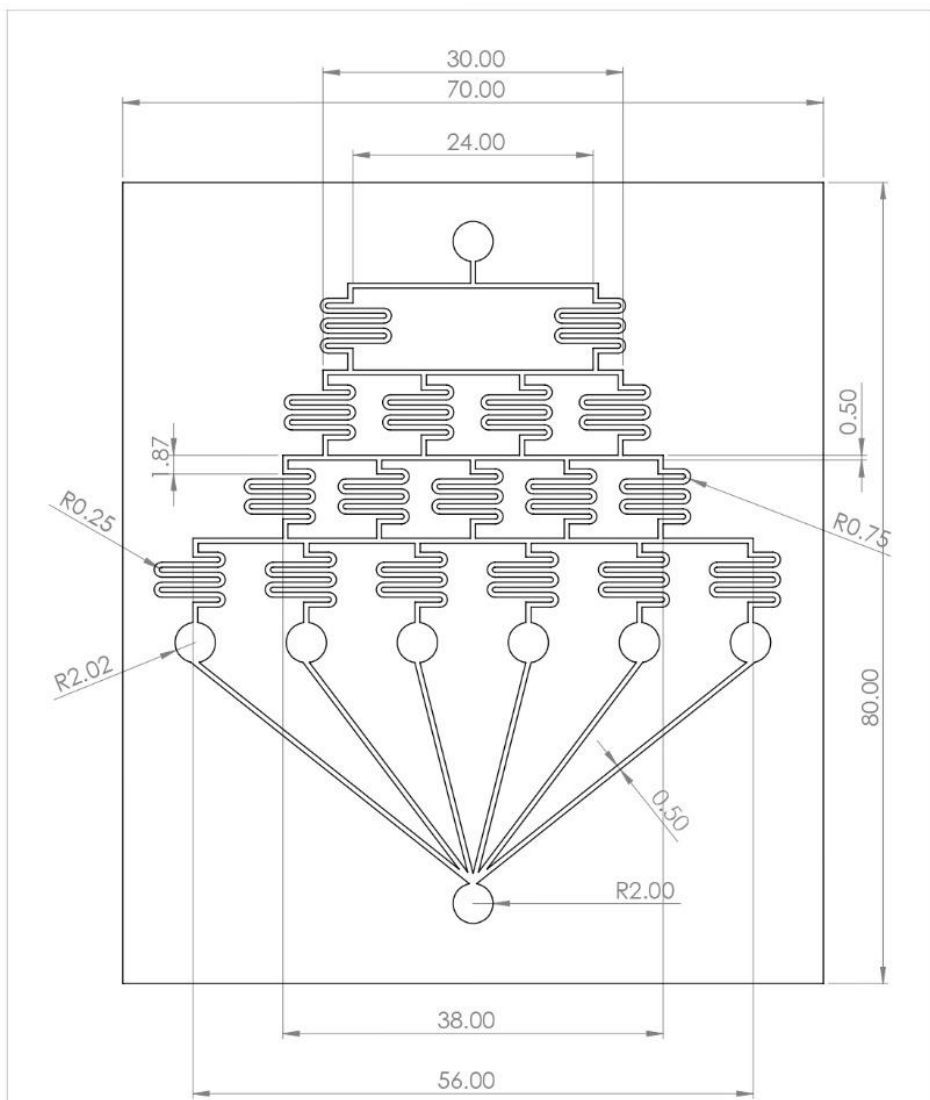
Anexos 6: Corte en maquina laser

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)



Anexos 7: Lavado de recipiente para almacenado

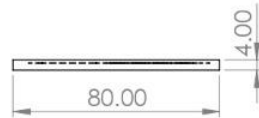
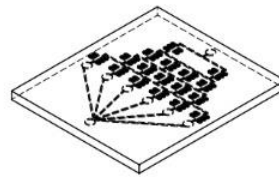
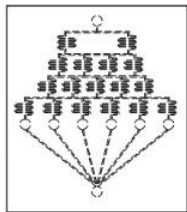
Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)



Universidad Tecnológica Indoamerica		2022-09-06	Nuñez A.
DISEÑO 2			Ingeniería In.
			9no. Semestre
Escala: 2:1	Sistema:E	Revisado:	Nota: N.- 04

Anexos 8: Diseño2

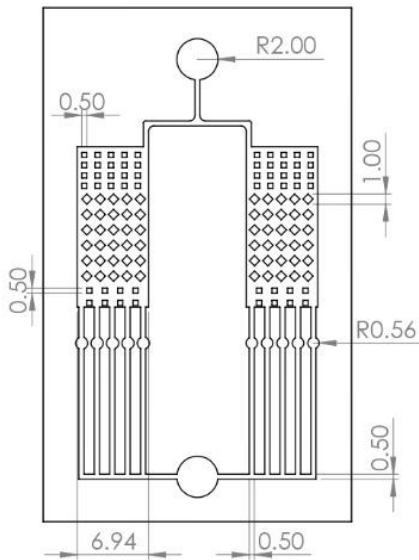
Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)



Universidad Tecnológica Indoamerica		2022-09-06	Nuñez A.
DISEÑO 2			Ingeniería In.
			9no. Semestre
Escala: 1:1	Sistema:E	Revisado:	Nota: N.- 03

Anexos 9: Diseño 2 vistas

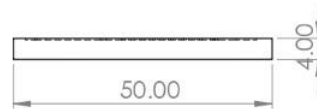
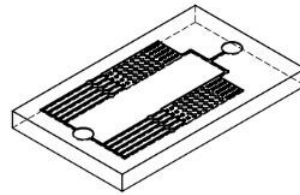
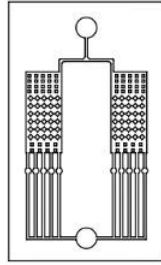
Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)



Universidad Tecnológica Indoamericana		2022-09-06	Nuñez A.
DISEÑO 1			Ingeniería In.
			9no. Semestre
Escala: 2:1	Sistema: E	Revisado:	Nota: N.- 02

Anexos 10: Diseño 1

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)



Universidad Tecnológica Indoamericana		2022-09-06	Nuñez A.
DISEÑO 1			Ingeniería In.
			9no. Semestre
Escala: 1:1	Sistema: E	Revisado:	Nota: N.- 01

Anexos 11: Diseño 2 vistas

Elaborado por: Nuñez Ariel (2022)

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** “Desarrollo de un separador microfluídico mediante CAD/CAM para aplicaciones en ciencias básicas en la Universidad Tecnológica Indoamérica” desarrollado por el señor **ARIEL OMAR NÚÑEZ GONZÁLEZ** portador de la cédula de identidad número **1805375118**, 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
ESCUDEO VILLA**

Ing. Pedro Escudero, PhD.

Docente – Investigador FITIC

UNIVERSIADAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA