

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Dosificador para el tratamiento de la Retinopatía del Prematuro

Trabajo de graduación presentado por
Pablo Javier Azurdia López, para optar al grado académico
de Licenciado en Ingeniería en Mecatrónica

Guatemala,

2013

Dosificador para el tratamiento de la Retinopatía del Prematuro

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Dosificador para el tratamiento de la Retinopatía del Prematuro

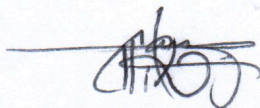
Trabajo de graduación presentado por
Pablo Javier Azurdia López, para optar al grado académico
de Licenciado en Ingeniería en Mecatrónica

Guatemala,

2013

Vo. Bo. :

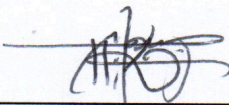
(f)



(Carlos Alberto Esquit Hernández)

Tribunal Examinador:

(f)



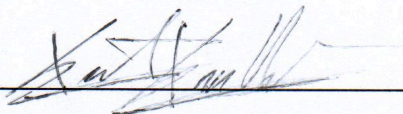
Ing. Carlos Alberto Esquit Hernández

(f)



Ing. Roberto Delgado Ruegg

(f)



Ing. Kurt Kellner

Fecha de aprobación: Guatemala, 4 de diciembre de 2013

PREFACIO

La elaboración de la presente tesis surgió por la necesidad de extraer dosis precisas del medicamento utilizado en la intervención quirúrgica de la retinopatía del prematuro, y así salvarles la vista a muchos bebés prematuros. Durante el transcurso de mi licenciatura siempre tuve la inquietud de colaborar o aportar en la rama de la medicina ya que es un área en donde se necesita de herramientas de precisión para poder realizar un procedimiento más efectivo. De esta manera, mi principal reto en este trabajo de graduación consistió en diseñar y construir un artefacto capaz de solucionar la compleja problemática.

La idea de precisar sobre el diseño y fabricación de un artefacto, surgió por la inexactitud que se tiene en la extracción de la dosis que se utiliza en el procedimiento médico, ya que son dosis en el orden de los microlitros. Asimismo, debo señalar que definí la delimitación del tema de tesis gracias a la inquietud del Dr. Erick Sáenz, que decidió resolver el problema de raíz y acudir a las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala para que se creara una solución al problema. Además cabe puntualizar que este proyecto ha sido apoyado tanto por el Ing. Carlos Esquit, director de Ingeniería Electrónica, como por el Ing. Roberto Delgado, Director de Ingeniería Mecatrónica.

Por otra parte, quiero agradecer en el plano personal principalmente a Dios por darme fortaleza y serenidad en los momentos de mayor tensión, a mis padres Byron y Verónica, y a toda mi familia por su incondicional apoyo.

ÍNDICE

PREFACIO.....	V
LISTA DE CUADROS	VIII
LISTA DE GRÁFICOS	IX
LISTA DE FIGURAS	X
RESUMEN	XI
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
A. GENERALES	2
B. ESPECÍFICOS	2
III. JUSTIFICACIÓN.....	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	4
A. RETINOPATÍA	4
1 Retinopatía del prematuro	4
a. Causas de la retinopatía del prematuro.....	5
b. Tratamiento.....	6
2. Retinopatía del diabético	7
a. Causas.....	7
b. Síntomas.....	7
c. Tratamiento.....	8
B. MICROCONTROLADOR.....	8
1. Unidad Central de Proceso, CPU	10
2. Memoria	10
3. Memoria de Acceso Aleatorio, RAM.....	11
4. Puertos de Entrada/Salida, E/S.....	11
5. Programación del microcontrolador.....	11
a. Alto nivel	11
b. Lenguaje C.....	12
C. PANTALLA DE CRISTAL LÍQUIDO DE 16X2, LCD.....	12
D. FUENTE DE ALIMENTACIÓN LINEAL.....	13
E. MOTOR PASO A PASO.....	14
1. Tipos de motores paso a paso.....	14
F. DRIVER ARREGLO DE DARLINGTON (ULN2803).....	17
G. MICRÓMETRO.....	17
1. Micrómetro de profundidad.....	18
V. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	19
VI. DISEÑO EXPERIMENTAL	21
A. SELECCIÓN DE DISEÑOS.....	21

1. Especificaciones Modelo A.....	21
2. Especificaciones Modelo B.....	21
3. Matriz de Pugh.....	22
B. DISEÑO DE PIEZAS.....	24
C. PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR.....	31
D. MUESTRAS	40
1. Estandarización de la extracción.....	40
2. Estandarización de la implementación	44
VII. RESULTADOS	45
A. Resultados de 10 μ L.....	45
B. Resultados 20 μ L	48
C. Resultados 30 μ L	51
D. Plataforma.....	53
VIII. CONCLUSIONES	55
IX. RECOMENDACIONES.....	56
X. BIBLIOGRAFÍA.....	57
XI. ANEXOS.....	58

LISTA DE CUADROS

1. Matriz de Pugh.....	23
2. Lista de piezas.....	25
3. Datos característicos del microcontrolador.....	31
4. Datos estadísticos de 10 μL	46
5. Datos estadísticos de 20 μL	49
6. Datos estadísticos de 30 μL	52
7. Características física.....	54

LISTA DE GRÁFICOS

1. Gráfico 1, Resultado de muestras de 10 μL	45
2. Gráfico 2, Histograma de probabilidades de la extracción de 10 microlitros.	46
3. Gráfico 3, Resultado de muestras de 20 μL	48
4. Gráfico 4, Histograma probabilidades de 20 microlitros.....	48
5. Gráfico 5, Resultado de muestras de 30 μL	51
6. Gráfico 6, Histograma probabilidad 30 microlitros.	51

LISTA DE FIGURAS

1. Anatomía del ojo [2].....	4
2. Anatomía del ojo con retinopatía [2].....	5
3. Desprendimiento de la retina [2].....	5
4. Composición de un microcontrolador [4].....	9
5. Diagrama de bloques de un CPU simple [4].....	10
6. Ejemplo de alto nivel [7].....	12
7. Ejemplo de lenguaje C.....	12
8. LCD 16X2 [9].....	13
9. Fuente de alimentación lineal [10].....	13
10. Diagrama de fuente de alimentación lineal básico [10].....	14
11. Secuencia y la polaridad de la alimentación a aplicar sobre las bobinas A-A y B-B para hacer girar el eje del motor con una progresión de un paso cada vez [11].....	15
12. Motor paso a paso bipolar de 4 hilos [11].....	16
13. Motor paso a paso unipolar de 6 hilos con toma central por cada par de bobinas [11].....	16
14. Motor paso a paso unipolar de 5 hilos con un solo toma central [11].....	16
15. Estructura interna del arreglo de Darlington [12].....	17
16. Estructura interna de un micrómetro de profundidad [13].....	18
17. Proceso actual para la extracción y aplicación del medicamento.....	19
18. Pieza retenedora del vial.....	25
19. Pieza retenedora de la jeringa.....	26
20. Pieza riel de acople micrómetro/jeringa.....	26
21. Acople jeringa/micrómetro.....	27
22. Agarre micrómetro.....	27
23. Eje de transmisión motor/micrómetro.....	28
24. Agarre motor.....	28
25. Base de movimiento motor.....	29
26. Representación de la plataforma de retención.....	30
27. Diagrama de flujo del Main del programa.....	32
28. Diagrama de flujo de la función INICIALIZACIÓN.....	33
29. Diagrama de flujo de la función BIENVENIDA.....	34
30. Diagrama de flujo de la función SUMA.....	35
31. Diagrama de flujo de la función REVISAR BANDERA.....	36
32. Primera continuación del diagrama de flujo de la función REVISAR BANDERA.....	37
33. Segunda continuación del diagrama de flujo de la función REVISAR BANDERA.....	38
34. Jeringa cebada.....	40
35. Representación de la extracción del volúmen de la aguja.....	41
36. Distancia aproximada donde debe quedar el volúmen total en la jeringa.....	42
37. Acción para llevar al medicamento a la superficie superior de la jeringa.....	42
38. Medicamento a nivel de la superficie superior de la jeringa.....	43
39. Jeringa con nueva aguja lista para aplicar.....	43
40. Resultado de la medición de 10 μ L.....	47
41. Resultado de la medición de 20 μ L.....	49
42. Resultado de la medición de 30 μ L.....	52
43. Plataforma real.....	53

RESUMEN

La **Retinopatía del prematuro** es producida por la existencia de una retina inmadura y sólo parcialmente vascularizada al momento de producirse el nacimiento en forma prematura. La alteración en el desarrollo de la vasculatura retinal producto de situaciones de hipoxia o hiperoxia relativa y el desequilibrio de los factores de crecimiento vascular en las semanas que siguen al nacimiento, lleva a la aparición de vasos de neoformación que en etapas posteriores pueden llegar a provocar un desprendimiento traccional de la retina y a la pérdida de su funcionalidad [1]. Para la solución de las dos Retinopatías, se practica un procedimiento quirúrgico que consiste en inyectar una dosis menor a los 25 μ L (retinopatía del prematuro) y una dosis menor a los 50 μ L (retinopatía del diabético) en el ojo del paciente, estas dosis no son del todo las mínimas efectivas por lo que una de las finalidades es ayudar a encontrar esa dosis mínima efectiva para cada tratamiento. Además en la actualidad se tiene la dificultad de extraer esas cantidades del vial, debido a que se utiliza una jeringa con una resolución de 1ml por lo que se tiene mucha variabilidad en la extracción del medicamento como también mucha imperfección en el momento de suministrarlo, como resultado se tienen dosis desconocidas para los médicos y así propenso el médico a ocasionarle daño al paciente en el nervio óptico por concepto de exceso de volumen dentro del ojo. Para la reducción de la variabilidad y de la imperfección al momento de la extracción y administración, se diseñó y construyó un artefacto capaz de extraer del vial cantidades deseadas por el médico con un margen de error y una variabilidad aceptable para la necesidad, como también se implementó una estandarización del procedimiento tanto para la extracción como para la administración. Lo anterior se realizó por medio de la construcción de una estructura capaz de retener la jeringa y medicamento en el momento del suministro (vial), esto controlado por medio de un microcontrolador que tiene como actuador un motor stepper con su respectivo mecanismo de movimiento lineal (micrómetro de profundidad), además se tiene la interfaz Humano-maquina (HMI). Teniendo ya el equipo construido se demostró que el sistema es capaz de extraer cantidades del vial muy pequeñas, pero no podrán ser suministradas, por lo que se decidió definir las dosis de extracción, las cuales son 10, 20 y 30 microlitros; el costo aproximado del artefacto es Q1400.00.

I. INTRODUCCIÓN

Originalmente, este trabajo consistía en el diseño y construcción de un artefacto capaz de extraer dosis en el orden de los microlitros, para el tratamiento de la Retinopatía del prematuro, sin embargo por motivos de manejo de recursos se decidió utilizarlo para el tratamiento de la Retinopatía del diabético, y se complementó por medio de la estandarización del procedimiento de extracción como el de implementación.

El diseño consiste en la interacción de diversos componentes, componentes del ámbito mecánico como electrónico, entre los mecánicos tenemos el micrómetro que es el elemento que nos brinda la precisión lineal y las piezas retenedoras, entre los elementos electrónicos tenemos a grande rasgos el motor paso a paso que es el encargado de propulsar el movimiento de manera precisa en el micrómetro, como también se tiene una pantalla de cristal líquido que será la que desplegará el menú de opciones al operador.

Ya acoplados todos los componentes unos con otros se obtuvo un artefacto capaz de extraer dosis en el orden de los microlitros, pero por las características físicas de la jeringa es imposible suministrarlas por lo que se optó primero por estandarizar el proceso completo y así poder aplicar dosis de 10, 20 y 30 μL .

II. OBJETIVOS

A. Generales

- Construir un artefacto capaz de suministrar pequeñas dosis a una jeringa para el procedimiento de la Retinopatía del Prematuro y del Diabético.

B. Específicos

1. Construir un artefacto capaz de extraer dosis menores de 25 μL de medicamento para el caso de la retinopatía del prematuro.
2. Construir un artefacto capaz de extraer dosis menores de 50 μL de medicamento para el caso de la retinopatía del diabético.
3. Construir un artefacto cuyo proceso de extracción sea totalmente automático.
4. Construir un artefacto cuya interfaz humano-maquina se amigable con el usuario.
5. Construir un artefacto portátil.

III. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, la industria de equipos médicos ha ido creciendo de manera paralela con respecto a las exigencias que se presentan en los procedimientos médicos; estas exigencias convergen en un solo punto el cual es la exactitud. En el caso de la Retinopatía del Prematuro y del Diabético que son procedimientos oftalmológicos donde se necesita alta precisión en el suministro de medicamento a la jeringa, no existe como tal un instrumento capaz de proporcionar dosis pequeñas y poco variantes, como también no se conoce la dosis mínima efectiva capaz de eliminar la enfermedad; con respecto al suministro a la jeringa, las cantidades que han sido suministradas a nivel mundial no exceden de los 25 μL (retinopatía del prematuro) y 50 μL (retinopatía del diabético), esto porque si se suministra más de la cantidad descrita se provoca un daño al nervio óptico (exceso de volumen en el ojo), sin embargo por la inexactitud y los distintos métodos de administración que se tiene en la actualidad, han sido suministradas sin intención, dosis mayores a los 25 μL y 50 μL respectivamente; por lo anterior se construyó un artefacto capaz de extraer cantidades precisas de medicamento, como también capaz de extraer cantidades menores a los 25 μL y 50 μL , esto para que el médico encuentre la dosis mínima efectiva para poder así reducir los excesos y aumentar la cantidad de dosis aplicadas ya que el costo del vial de 4 ml es de Q 2000.00, además es un problema mundial que afecta al paciente a los familiares y al mundo entero.

IV. MARCO TEÓRICO

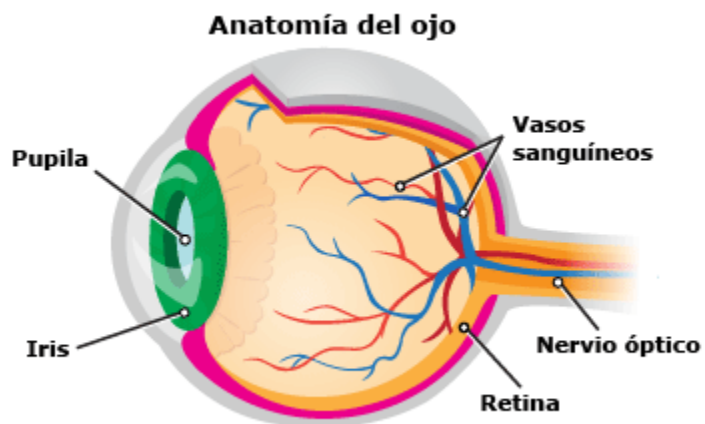
A. Retinopatía

La retinopatía del prematuro (*retinopathy of prematurity*, ROP) es una enfermedad que principalmente suele aparecer en bebés prematuros. Provoca el crecimiento de vasos sanguíneos anormales en la retina, la capa de tejido nervioso del ojo que nos permite ver. Este crecimiento puede provocar que la retina se desprenda de la parte posterior del ojo, lo cual puede producir ceguera. [2]

1. **Retinopatía del prematuro.** La retinopatía del prematuro (*retinopathy of prematurity*, ROP) es una enfermedad que principalmente suele aparecer en bebés prematuros. Provoca el crecimiento de vasos sanguíneos anormales en la retina, la capa de tejido nervioso del ojo que nos permite ver. Este crecimiento puede provocar que la retina se desprenda de la parte posterior del ojo, lo cual puede producir ceguera. [2]

Algunos casos de retinopatía del prematuro son leves y se corrigen solos, pero otros requieren de cirugía para prevenir la pérdida de la vista o la ceguera. La cirugía implica el uso de láser u otros medios para detener el crecimiento de vasos sanguíneos anormales y asegurarse de que no se produzca un desprendimiento de retina. [2]

Figura 1, Anatomía del ojo [2]



a. **Causas de la retinopatía del prematuro.** La retinopatía del prematuro provoca el crecimiento anormal y aleatorio de vasos sanguíneos, lo cual puede llegar a provocar que la retina finalmente se desprenda del ojo. Debido a que la retina es una de las partes esenciales de la vista, su desprendimiento causa ceguera. [2]

Figura 2, Anatomía del ojo con retinopatía [2]

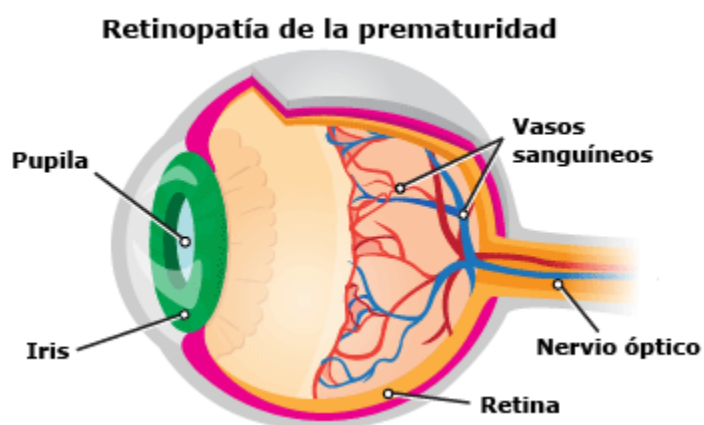
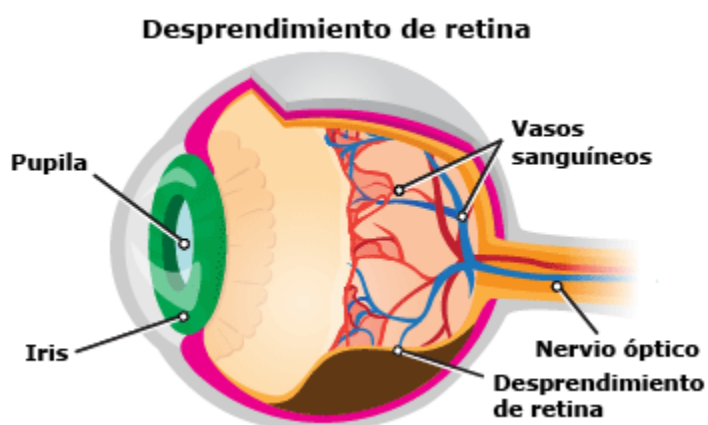


Figura 3, Desprendimiento de la retina [2]



Aunque los especialistas no comprenden del todo la causa de la retinopatía del prematuro, sí saben que se produce con más frecuencia entre los bebés más pequeños y prematuros. [2]

Los vasos sanguíneos crecen desde el centro de la retina de un bebé en desarrollo, a partir de las 16 semanas del embarazo de la madre, y se ramifican hacia afuera hasta alcanzar los bordes de la retina, a los 8 meses del embarazo. En los bebés que nacen de manera prematura, el crecimiento de vasos retíales normales puede interrumpirse y se pueden desarrollar vasos anormales que pueden provocar lagrimeo y sangrado en el ojo. [2]

La retinopatía del prematuro puede detenerse o revertirse en cualquier momento, o bien, la enfermedad puede evolucionar hasta causar cicatrización, lo que produce el desprendimiento de la retina del resto del ojo. [2]

La retinopatía del prematuro no presenta signos ni síntomas. La única manera de detectarla es a través de un examen de la vista por parte de un oftalmólogo.

b. Tratamiento. La cirugía de la retinopatía del prematuro tiene el objetivo de detener el crecimiento de los vasos sanguíneos anormales centrandolo en la retina periférica (los laterales de la retina) para preservar la retina central (la parte más importante de la retina). La cirugía para la retinopatía del prematuro consiste en cicatrizar las áreas de la retina periférica para detener el crecimiento anormal y eliminar el desprendimiento de la retina. [2]

Debido a que la cirugía se centra en el tratamiento de la retina periférica, estas áreas cicatrizarán y es posible que se pierda parte de la vista periférica. Sin embargo, al preservar la retina central, el ojo igualmente podrá realizar las funciones vitales como ver hacia adelante, distinguir colores, leer, etc. [2]

Los métodos que se usan con más frecuencia en la cirugía de retinopatía del prematuro son los siguientes: [2]

- **Cirugía láser:** el tipo más común de cirugía de retinopatía del prematuro, en el cual se usan pequeños rayos láser para cicatrizar la retina periférica (también denominada terapia láser o fotocoagulación). Este procedimiento dura alrededor de 30 a 45 minutos para cada ojo. [2]
- **Crioterapia:** es el uso de temperaturas de congelamiento para cicatrizar la retina periférica con el fin de detener el crecimiento de vasos sanguíneos anormales. Durante muchos años,

la crioterapia (también denominada criocirugía) era el método aceptado de cirugía para la retinopatía del prematuro, pero ha sido totalmente reemplazada por la terapia con láser. [2]

- **Avastin:** método sumamente novedoso que consiste en la administración en una pequeña dosis en el orden μL (menos de 30). En realidad lo que hace el medicamento es neutralizar de manera permanente el crecimiento de los vasos sanguíneos.

2. Retinopatía del diabético. La diabetes puede dañar los ojos, puede causarles daño a los pequeños vasos sanguíneos de la retina, la parte posterior del ojo, lo cual se conoce como retinopatía diabética. [3]

a. Causas. La retinopatía diabética es causada por daño a los vasos sanguíneos de la retina, la capa de tejido en la parte posterior del interior del ojo. La retina transforma la luz y las imágenes que entran en el ojo en señales nerviosas que son enviadas al cerebro. [3]

La retinopatía diabética es la causa principal de ceguera en los estadounidenses en edad productiva. Las personas con diabetes tipo 1 y diabetes tipo 2 están en riesgo de padecer esta afección. [3]

Existen dos etapas de la retinopatía diabética:

- La no proliferativa se presenta primero.
- La proliferativa es más grave y avanzada.

La posibilidad de desarrollar retinopatía y tener una forma más grave es mayor cuando:

- Usted ha tenido diabetes por mucho tiempo.
- Su diabetes ha estado mal controlada.

b. Síntomas. Con mucha frecuencia, la retinopatía diabética no provoca síntomas hasta que el daño a los ojos es grave. [3]

Los síntomas de retinopatía diabética abarcan:

- Visión borrosa y pérdida lenta de la visión con el tiempo

- Moscas volantes.
- Sombras o áreas de visión perdidas
- Dificultad para ver en la noche

Muchas personas con retinopatía diabética inicial no presentan síntomas antes de que ocurra un sangrado mayor en el ojo. Ésta es la razón por la cual toda persona con diabetes debe hacerse exámenes regulares de los ojos. [3]

c. Tratamiento. Es posible que las personas con la forma temprana de la retinopatía diabética (no proliferativa) no necesiten tratamiento. Sin embargo, un oftalmólogo entrenado para tratar la retinopatía diabética debe hacer un seguimiento cuidadoso. [3]

Una vez que el oftalmólogo note que están proliferando nuevos vasos sanguíneos en la retina (neovascularización) o que se desarrolla edema macular, por lo general se necesita tratamiento. [3]

Varios procedimientos o cirugías son el tratamiento principal para la retinopatía diabética.

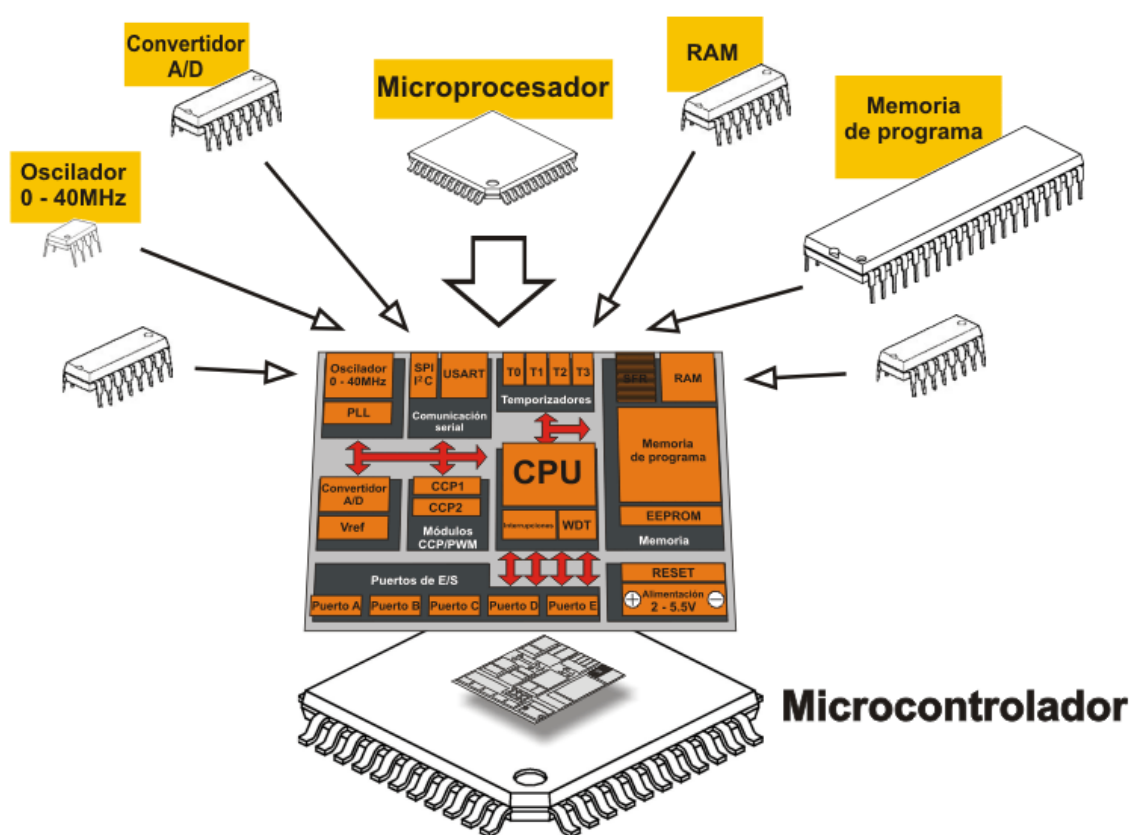
- La cirugía del ojo con láser crea pequeñas quemaduras en la retina donde hay vasos sanguíneos anormales. Este proceso se denomina fotocoagulación y se usa para impedir que los vasos presenten filtración o para eliminar vasos anormales y frágiles. [3]
- Un procedimiento quirúrgico llamado vitrectomía se usa cuando hay sangrado (hemorragia) en el ojo. También puede usarse para reparar el desprendimiento de retina. [3]
- Fármacos que impiden la proliferación de vasos sanguíneos anormales y esteroides inyectados en el globo ocular son posibles nuevos tratamientos para la retinopatía diabética. [3]
 - En el caso de Avastin se aplican dosis menores a los 50 μ L.

B. Microcontrolador.

Los principiantes en electrónica creen que un microcontrolador es igual a un microprocesador. Esto no es cierto. Difieren uno del otro en muchos sentidos. La primera y la más importante diferencia es su funcionalidad. Para utilizar al microprocesador en una aplicación

real, se debe de conectar con componentes tales como memoria o componentes buses de transmisión de datos. Aunque el microprocesador se considera una máquina de computación poderosa, no está preparado para la comunicación con los dispositivos periféricos que se le conectan. Para que el microprocesador se comunique con algún periférico, se deben utilizar los circuitos especiales. Así era en el principio y esta práctica sigue vigente en la actualidad. [4]

Figura 4, Composición de un microcontrolador [4]



[4]

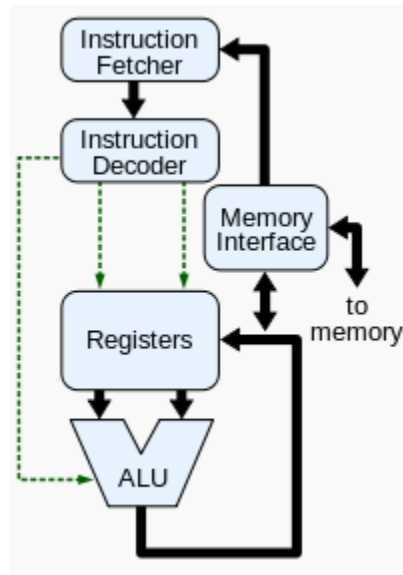
Por otro lado, al microcontrolador se le diseña de tal manera que tenga todas las componentes integradas en el mismo chip. No necesita de otros componentes especializados para su aplicación, porque todos los circuitos necesarios, que de otra manera correspondan a los periféricos, ya se encuentran incorporados. Así se ahorra tiempo y espacio necesario para construir un dispositivo. [4]

Como se puede observar en la Figura 1, todos los componentes especializados están empaquetados en solo lugar en donde un microcontrolador simple puede contar y funcionar con un CPU, memoria RAM, memoria de programa y puerto de entradas y salidas.

1. Unidad Central de Proceso, CPU. La CPU (Central Processing Unit), construida alrededor de un sistema microprocesador, se encarga de ejecutar el programa de usuario y ordenar las transferencias de información en el sistema de entradas/salidas. [5]

Un microprocesador consiste principalmente en una unidad aritmética y lógica, una unidad de control y un pequeño número de unidades de memoria internas, denominadas registros. [5]

Figura 5, Diagrama de bloques de un CPU simple [4]



2. Memoria. La memoria es el almacén donde el microcontrolador guarda todo cuando necesita para ejecutar la tarea de control. [4]

3. Memoria de Acceso Aleatorio, RAM. Memoria de lectura/escritura, que puede ser leída y modificada de forma rápida cuantas veces sea necesario, a través del transporte interno. [4]

Dentro de sus desventajas esta su capacidad de almacenamiento y su carácter volátil, que provoca la pérdida de información cada vez que cae la tensión de alimentación. [4]

4. Puertos de Entrada/Salida, E/S. Son los intermediarios entre el microcontrolador y los periféricos con la finalidad de tener un resultado en las salidas en base a las entradas que se tengan. [4]

5. Programación del microcontrolador. Al conjunto de instrucciones, órdenes y símbolos que están disponibles para escribir un programa se le denomina lenguaje de programación. Dicha programación puede describirse como la codificación al lenguaje del autómata del conjunto de órdenes que conforma la ley de mando o de control deseada. El lenguaje a utilizar depende del programador que decide del tipo de unidad de programación (alto nivel y lenguaje C). [6].

a. Alto nivel. Un lenguaje de programación de alto nivel se caracteriza por expresar los algoritmos de una manera adecuada a la capacidad cognitiva humana, en lugar de a la capacidad ejecutora de las máquinas. [7]

En los primeros lenguajes de nivel bajo la limitación era que se orientaban a un área específica y sus instrucciones requerían de una sintaxis predefinida. Se clasifican como lenguajes procedimentales. [7]

Otra limitación de los lenguajes de nivel bajo es que se requiere de ciertos conocimientos de programación para realizar las secuencias de instrucciones lógicas. Los lenguajes de alto nivel se crearon para que el usuario común pudiese solucionar un problema de procesamiento de datos de una manera más fácil y rápida. [7]

Figura 6, Ejemplo de alto nivel [7]

```

$0033    $0CF9
RRF  STACK_9, F
$0034    $0CF8
RRF  STACK_8, F
$0035    $1C03
BTFSS STATUS, C
$0036    $281C
GOTO $-26

```

b. Lenguaje C. El lenguaje C dispone de todas las ventajas de un lenguaje de programación de alto nivel (anteriormente descritas) y le permite realizar algunas operaciones tanto sobre los bytes como sobre los bits (operaciones lógicas, desplazamiento etc.). Las características de C pueden ser muy útiles al programar los microcontroladores. Además, C está estandarizado (el estándar ANSI), es muy portable, así que el mismo código se puede utilizar muchas veces en diferentes proyectos. Lo que lo hace accesible para cualquiera que conozca este lenguaje sin reparar en el propósito de uso del microcontrolador. [8]

Figura 7, Ejemplo de lenguaje C

```

void Revisar_bandera() {
    banderaen = 0x00;
    inicio:    switch (bandera) {
                case 1: {

```

C. Pantalla de cristal líquido de 16X2, LCD.

La LCD (Liquid Crystal Display), es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. [9] La pantalla consta de una matriz para desplegar lo deseado, la dimensión de la matriz es de 16 columnas y 2 filas.

Figura 8, LCD 16X2 [9]



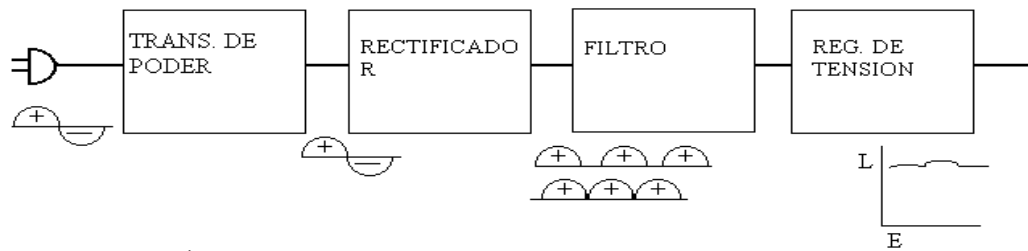
D. Fuente de alimentación lineal.

Las fuentes lineales siguen el esquema: transformador, rectificador, filtro, regulación y salida. En primer lugar el transformador adapta los niveles de tensión y proporciona aislamiento galvánico. El circuito que convierte la corriente alterna en corriente continua pulsante se llama rectificador, después suelen llevar un circuito que disminuye el rizado como un filtro de condensador. La regulación, o estabilización de la tensión a un valor establecido, se consigue con un componente denominado regulador de tensión, que no es más que un sistema de control a lazo cerrado que en base a la salida del circuito ajusta el elemento regulador de tensión que en su gran mayoría este elemento es un transistor. [10]

Figura 9, Fuente de alimentación lineal [10]



Figura 10, Diagrama de fuente de alimentación lineal básico [10]

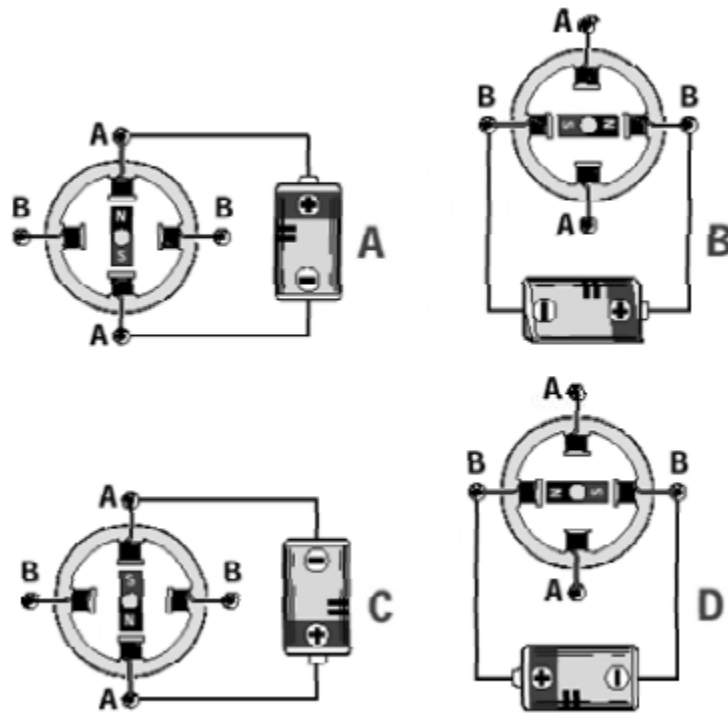


E. Motor paso a paso.

También conocidos como “stepper motor”, pueden girar y pararse con una precisión del orden de centésimas de milímetro. Esta alta precisión y su fiabilidad los destinan a ser utilizados en una gran cantidad de aparatos electrónicos. [11]

1. Tipos de motores paso a paso. Los motores paso a paso pueden ser de tipo bipolar o unipolar. Los motores bipolares son llamados así porque para hacer girar el eje, deben invertir la polaridad de la alimentación de sus bobinas, según una secuencia bien precisa (ver Figura 8). [11]

Figura 11, Secuencia y la polaridad de la alimentación a aplicar sobre las bobinas A-A y B-B para hacer girar el eje del motor con una progresión de un paso cada vez [11]



Estos motores se reconocen fácilmente por los 4 hilos que salen de su cuerpo.

Los motores unipolares son llamados así porque, al tener un doble arrollamiento en sus bobinas, no es necesario invertir la polaridad de la alimentación. Estos motores se reconocen por los 5 o 6 hilos que salen de su cuerpo, además los motores bipolares son más populares ya que, a igual potencia, tienen unas dimensiones menores que los unipolares. [11]

Figura 12, Motor paso a paso bipolar de 4 hilos [11]

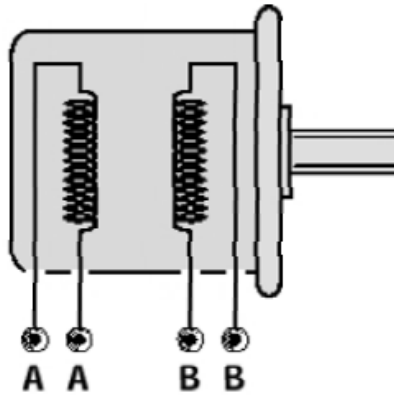


Figura 13, Motor paso a paso unipolar de 6 hilos con toma central por cada par de bobinas [11]

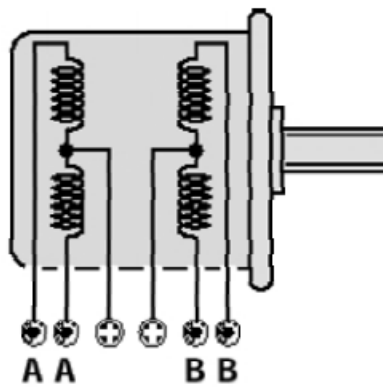
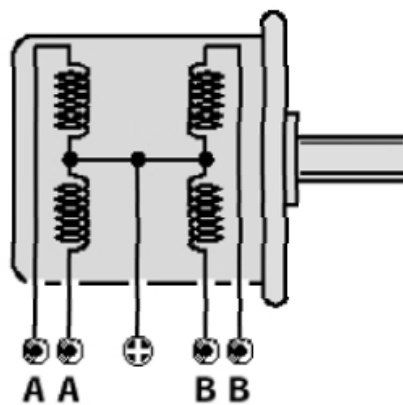


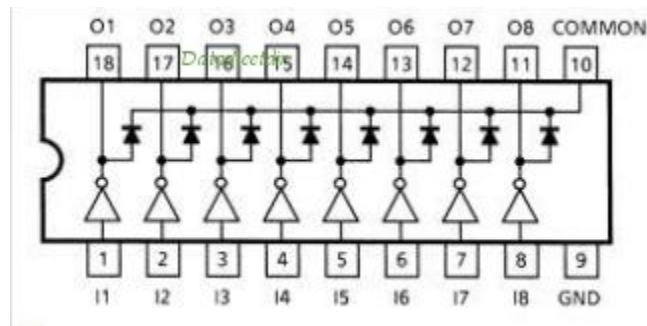
Figura 14, Motor paso a paso unipolar de 5 hilos con un solo toma central [11]



F. Driver arreglo de Darlington (ULN2803).

El ULN2803 es un array (arreglo) de 8 transistores Darlington es un encapsulado de 18 pines. Es ideal para manejar cargas que requieran de gran corriente como por ejemplo los LED Luxeon o pequeños motores. Puede ser conectado a cualquier placa Arduino y proporcionar hasta 500 mA por salida con una tensión de hasta 50 voltios, sus ocho salidas pueden ser puenteadas para proporcionar aún más corriente por canal. [12]

Figura 15, Estructura interna del arreglo de Darlington [12]



F. Micrómetro.

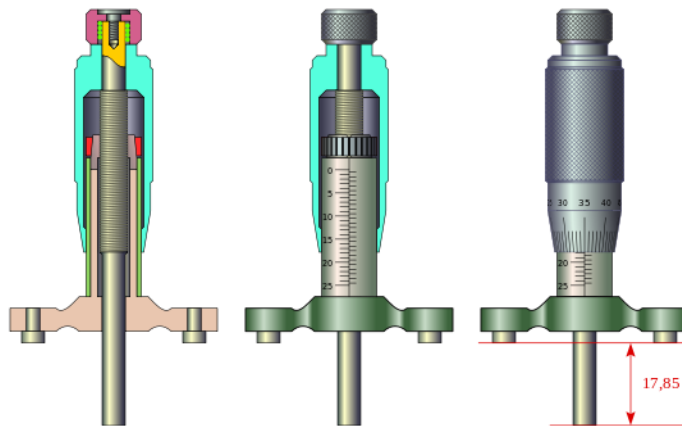
El micrómetro, que también es denominado tornillo de Palmer, calibre Palmer o simplemente palmer, es un instrumento de medición cuyo nombre deriva etimológicamente de las palabras griegas *μικρο* (*micros*, pequeño) y *μετρον* (*metron*, medición); su funcionamiento se basa en un tornillo micrométrico que sirve para valorar el tamaño de un objeto con gran precisión, en un rango del orden de centésimas o de milésimas de milímetro, 0,01 mm ó 0,001 mm (micra) respectivamente. [13]

El micrómetro usa el principio de un tornillo para transformar pequeñas distancias que son demasiado pequeñas para ser medidas directamente, en grandes rotaciones que son lo suficientemente grandes como para leerlas en una escala. La precisión de un micrómetro se deriva de la exactitud del tornillo roscado que está en su interior. Los principios básicos de funcionamiento de un micrómetro son los siguientes: [13]

- La cantidad de rotación de un tornillo de precisión puede ser directa y precisamente relacionada con una cierta cantidad de movimiento axial (y viceversa), a través de la constante conocida como el *paso del tornillo*. El paso es la distancia que avanza axialmente el tornillo con una vuelta completa de (360°). [13]
- Con un tornillo de paso adecuado y de diámetro mayor, una determinada cantidad de movimiento axial será transformada en el movimiento circular resultante. [13]

1. **Micrómetro de profundidad.** En el caso del micrómetro de profundidad, sonda, se puede ver las similitudes con el tornillo micrométrico de exteriores, si bien en este caso la escala está en sentido inverso:

Figura 16, Estructura interna de un micrómetro de profundidad [13]

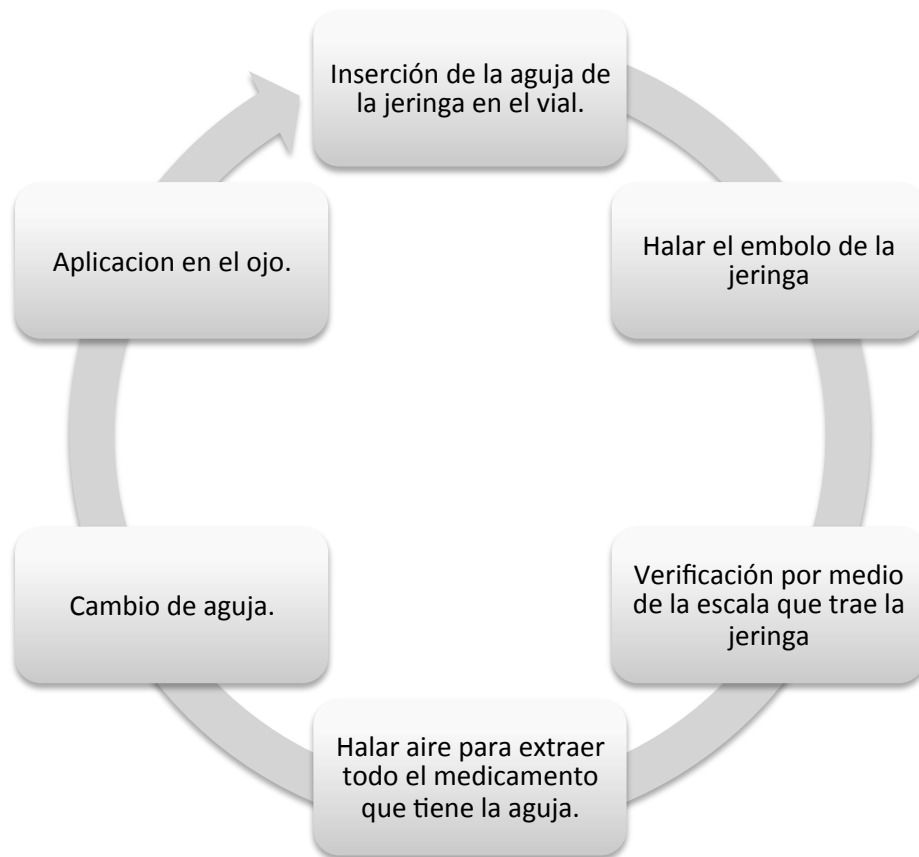


Cuando la sonda está recogida, en su menor medida, el tambor fijo se ve en su totalidad, y el tambor móvil oculta la escala fija a medida que la medida aumenta, por tanto el valor en milímetros enteros y medio milímetro es el último que se ocultó por el tambor móvil, la lectura de la escala es similar a la del micrómetro de exteriores. [13]

V. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El presente trabajo consiste en el diseño y construcción de un artefacto capaz de suministrar de manera automática una jeringa para el tratamiento de la Retinopatía del Prematuro y la Retinopatía del Diabético. Dicho proceso de suministro se hace de forma manual el cual se describe a continuación.

Figura 17, Proceso actual para la extracción y aplicación del medicamento



El problema con este método es que no saben con exactitud cuánto están extrayendo y mucho menos cuanto están inyectando; en cuanto a la extracción es debido a que se tiene una jeringa con una resolución muy grande para las cantidades por lo que es sumamente difícil querer llegar a un punto en específico, y una mínima desviación aumenta o disminuye la dosis. Y con respecto a la implementación de la dosis se tiene mucho error ya que varía dependiendo de los métodos que extracción que aplique cada doctor aunque el más común es el explicado con anterioridad.

VI. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la elaboración de este trabajo se desarrollaron múltiples etapas que se detallan a continuación.

Se inició con una junta con el doctor oftalmólogo con fines de profundizar con respecto al tema en general, como por ejemplo de que se trata la enfermedad, forma de extracción, forma de preparación, cantidad de μL en la dosis, etc. Después de tener clara la finalidad del proyecto se plantearon dos diseños distintos esto con el fin de poder seleccionar uno por medio de la matriz de Pugh.

A. Selección de diseños.

Para la correcta selección del modelo ideal del artefacto, se utilizó la matriz de Pugh teniendo como principal factor de selección, la economía, en esta matriz se analizan dos modelos semejantes en funcionamiento pero diferentes en el aspecto de que utilizan diferentes piezas, a continuación las especificaciones de los dos modelos a evaluar.

1. Especificaciones Modelo A

- 6 piezas de agarre.
- Plástico biodegradable PLA como material para piezas.
- Micrómetro de profundidad como actuador.
- PIC 16f886 como controlador.
- Motor paso a paso.
- Pantalla LCD 16X2.
- Driver Darlington.
- Fuente de alimentación.

2. Especificaciones Modelo B

- 3 piezas de agarre.
- Acero inoxidable como material para piezas.
- PIC 16f886 como controlador.

- Motor lineal marca MICROMO.
- Pantalla LCD 16X2.
- Driver Darlington.
- Fuente de alimentación.

3. Matriz de Pugh. Teniendo las especificaciones de los dos modelos se analizan los conceptos a tratar en la matriz, estos conceptos deben de ser de suma importancia según se considere.

A continuación, se presenta la puntuación para cada uno de los conceptos.

- Puntuación Costo.
 - 5 --- \$0 <\$300
 - 4 ---- \$300 a \$400
 - 3 ---- \$400 a \$500
 - 2 ---- \$500 a \$600
 - 1 ---- \$600 a \$700
 - 0 ---- > \$700
- Puntuación funcionalidad
 - 5 --- Alta
 - 4 ---- Alta baja
 - 3 ---- Media
 - 2 ---- Media baja
 - 1 ---- Poca
 - 0 ---- Nada
- Puntuación precisión
 - 5 --- Milésimas de pulgada
 - 4 ---- Milésimas de mm
 - 3 ---- milímetro
 - 2 ---- pulgadas
 - 1 ---- metros

- 0 ---- kilómetros
- Puntuación portabilidad
 - 5 ---- 0 a 20 cm³
 - 4 ---- 20 cm³ a 25 cm³
 - 3 ---- 25 cm³ a 30 cm³
 - 2 ---- 35 cm³ a 40 cm³
 - 1 ---- 40 cm³ a 45 cm³
 - 0 ---- 45 cm³ a 60 cm³
- Puntuación para número de pasos
 - 5 ---- 0 a 5 pasos
 - 4 ---- 5 a 10 pasos
 - 3 ---- 10 a 15 pasos
 - 2 ---- 15 a 20 pasos
 - 1 ---- 20 a 25 pasos
 - 0 ---- 25 a 30 pasos

Tabla 1, Matriz de Pugh

Concepto	Peso	Puntaje A	Puntaje B	Modelo A	Modelo B
Costo	5	5	2	25	10
Funcionalidad	3	5	5	15	15
Precisión	4	5	5	20	20
Portabilidad	1	1	5	1	5
Número de pasos para la extracción	2	5	5	10	10
Total				71	60

Según el resultado obtenido de la matriz de pugh, el modelo A es el indicado a realizar ya que se obtiene el mayor puntaje.

Es claro que el modelo ganador fuera el A, esto debido a que si puede notar el peso del concepto costo es el más significativo por lo que el modelo que sea más barato saldría vencedor, en este caso es el modelo A y esto porque si se puede notar el modelo a utiliza más piezas pero serán construidas de plástico PLA que es mucho más barato que construir las tres piezas del modelo B que son de acero inoxidable que es de alto costo, además el mecanismo utilizado en modelo A es un micrómetro de profundidad junto un motor paso a paso este junto aproximadamente tiene un monto de Q600.00 a diferencia de utilizar solo un motor lineal marca MICROMO que su costo esta alrededor de los Q1200.00 por lo que tiene ventaja el modelo A; en los demás conceptos los dos modelos son semejantes exceptuando el de portabilidad ya que el modelo a pesar de ser más económico posee mayor cantidad de piezas por lo que lo hace más grande pero portable, y el modelo B si es sumamente portable.

Ya tenido el diseño final se inició con el diseño y realización de cada una de las piezas que componen la plataforma retenedora de objetos; estas piezas esta comprendidas por el agarre del vial, jeringa, micrómetro y motor, como también los ejes de transmisión. Al tener las piezas concluidas se prosiguió con el armado de la plataforma retenedora, está básicamente consta de las piezas acopladas en una tabla de plexiglass o material afín

B. Diseño de piezas.

Para el diseño de piezas se utilizó el programa Autodesk Inventor 2013 el cual facilitó el dimensionamiento y modificaciones de cada una de las piezas, para la construcción de la piezas se utilizó una impresora 3D utilizando como material el plástico PLA, este es a base de maíz por lo que es biodegradable.

A continuación, se presenta una lista con cada una de las piezas de la plataforma de retención.

Tabla 2, Lista de piezas.

Pieza	Cantidad (piezas)
Retenedor del vial	1
Retenedor de la jeringa	1
Riel de acople micrómetro/jeringa	1
Acople jeringa/micrómetro	1
Agarre micrómetro	2
Eje de transmisión motor/micrómetro	1
Agarre motor	1
Base de movimiento motor	1

A continuación, se muestran ilustraciones de las piezas que conforman la plataforma de retención.

Figura 18, Pieza retenedora del vial

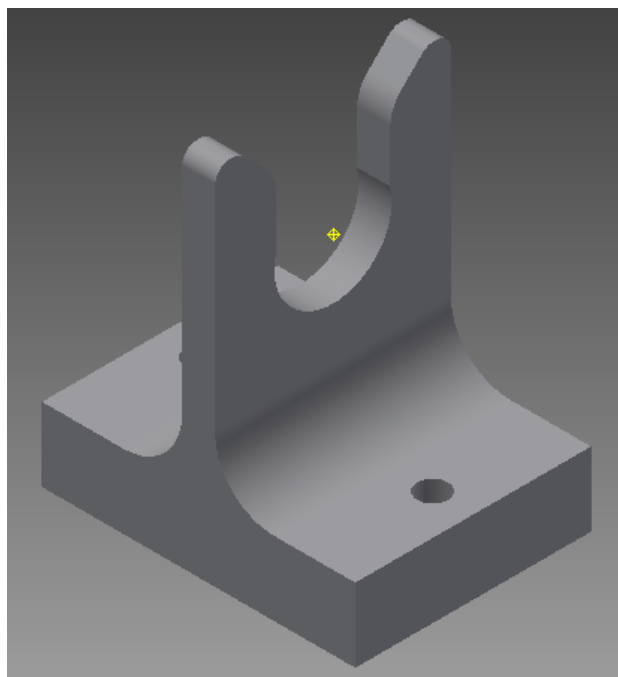


Figura 19, Pieza retenedora de la jeringa

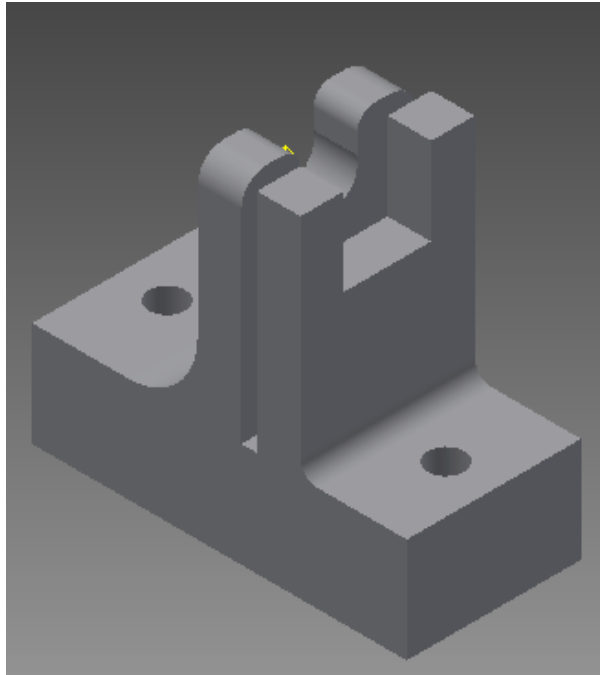


Figura 20, Pieza riel de acople micrómetro/jeringa

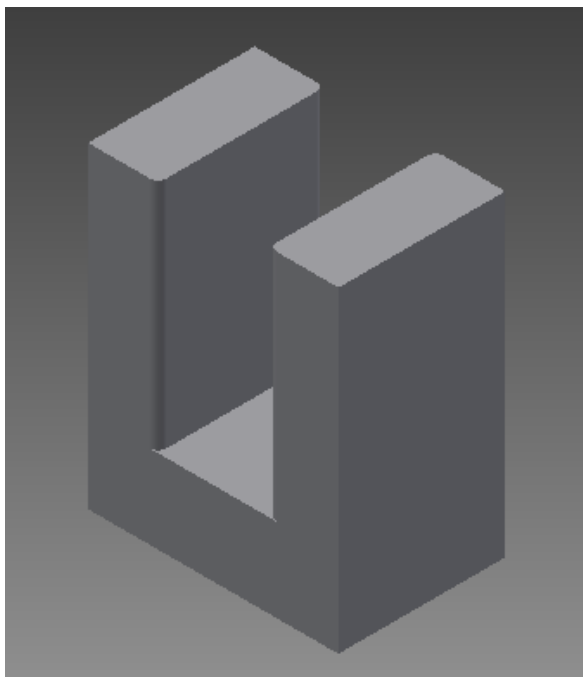


Figura 21, Acople jeringa/micrómetro

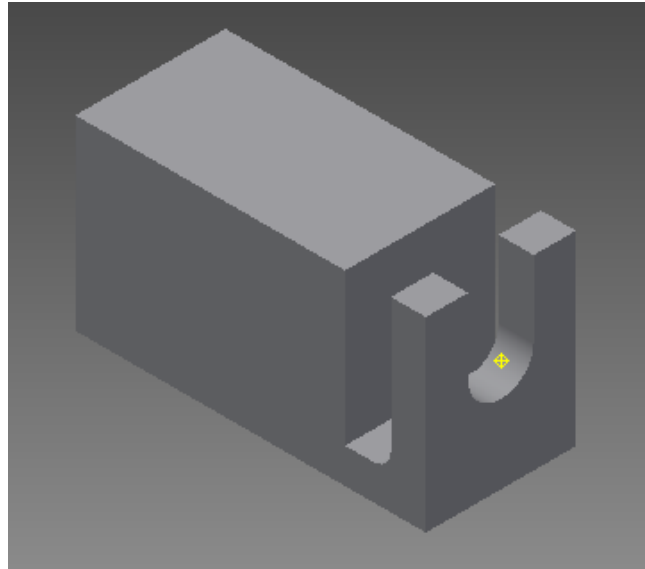


Figura 22, Agarre micrómetro

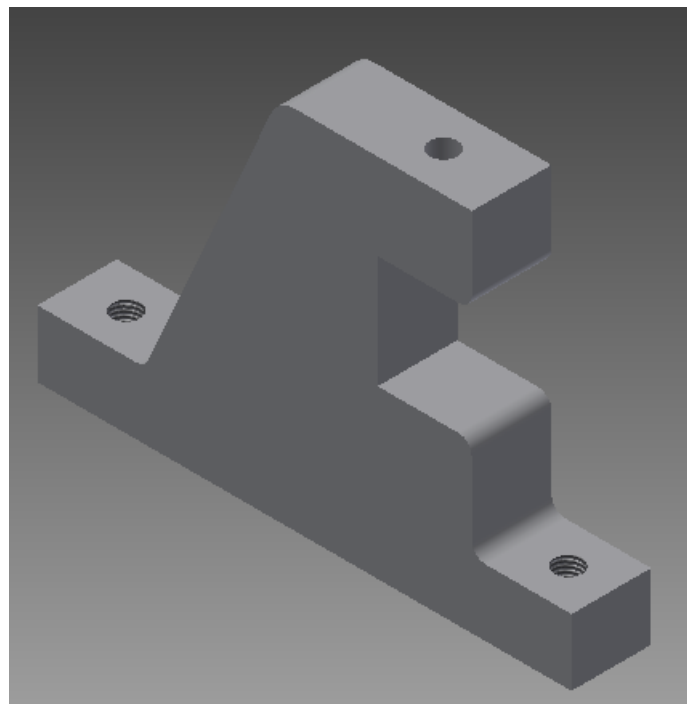


Figura 23, Eje de transmisión motor/micrómetro

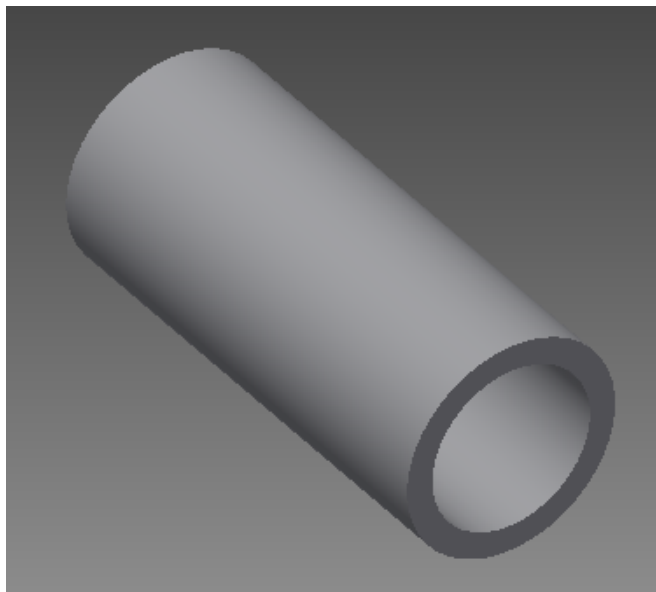


Figura 24, Agarre motor

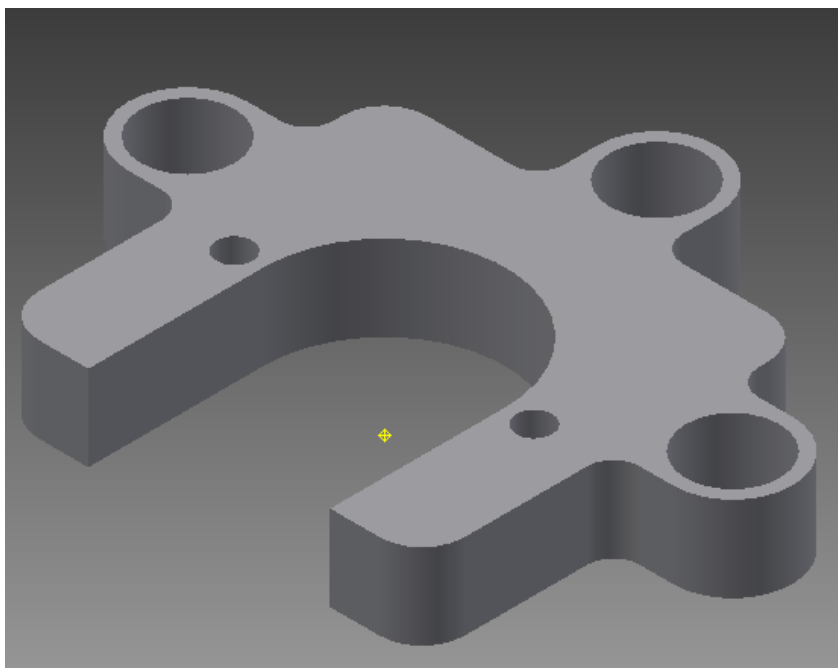


Figura 25, Base de movimiento motor

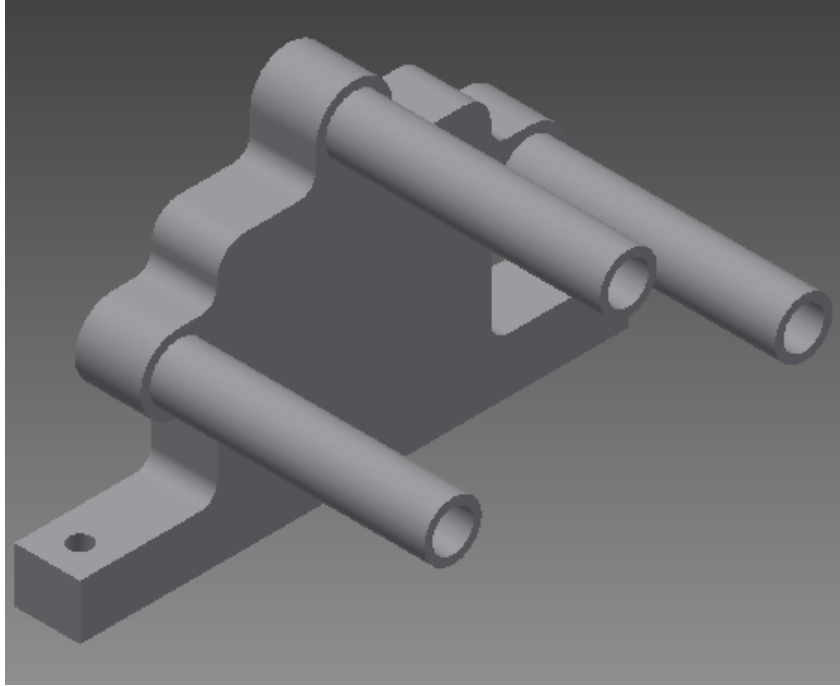
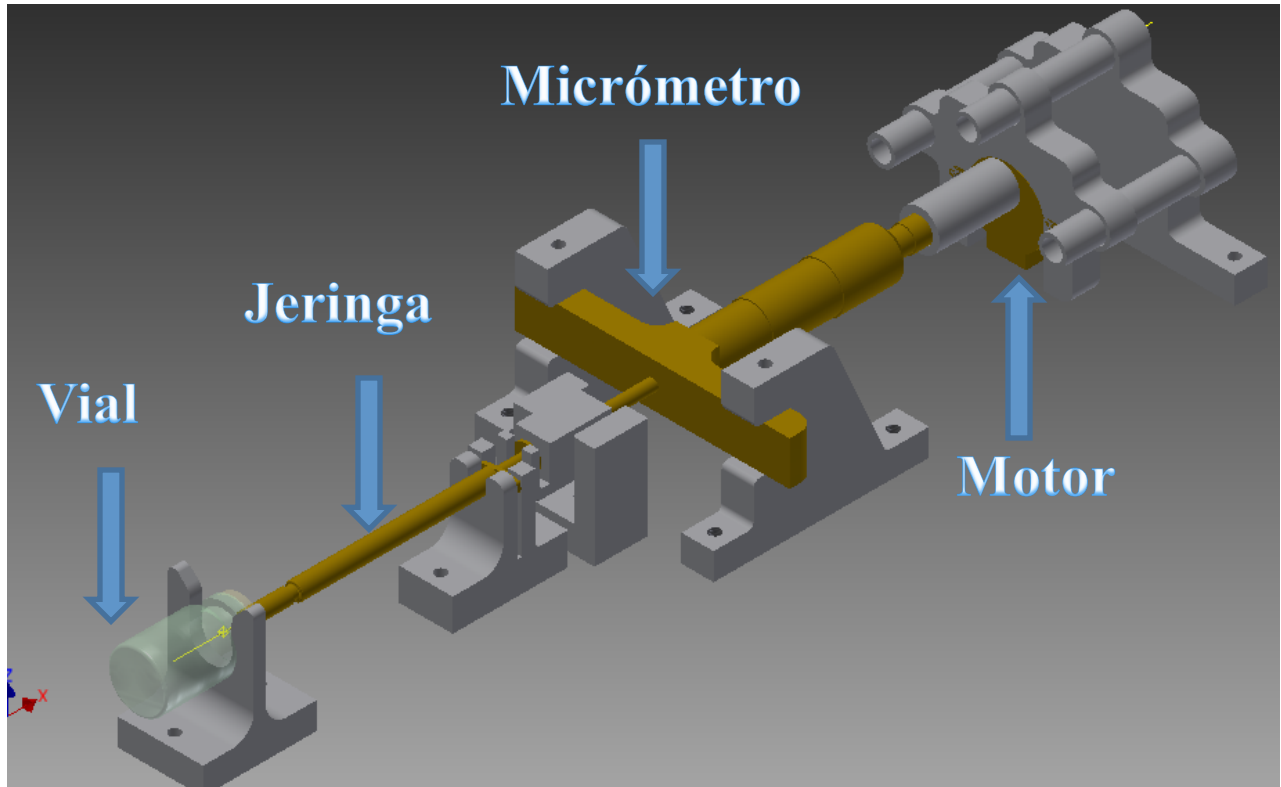


Figura 26, Representación de la plataforma de retención



Posteriormente, se realizó el programa del microcontrolador, donde en esencia se programa el menú principal, desplegable en una pantalla de cristal líquido (LCD por sus siglas en ingles) y el accionamiento del motor conforme a lo que se desea extraer.

C. Programación del Microcontrolador.

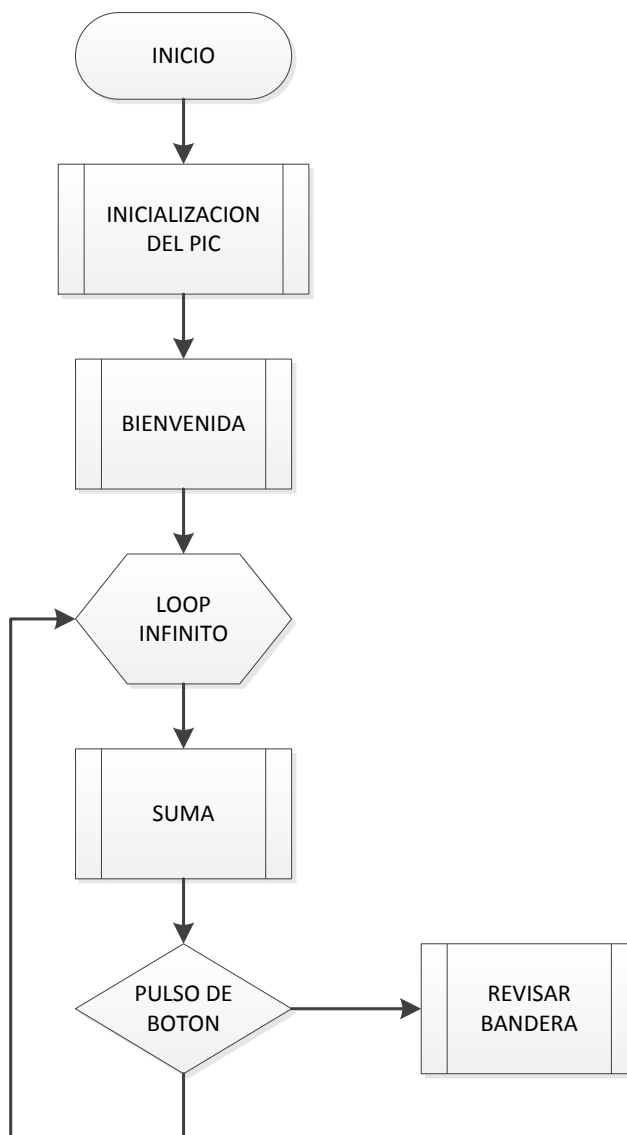
Para la realización de esta sección se utilizó un microcontrolador PIC 16f886; su elección se basa en la cantidad de pines que posee, costo, facilidad de uso y adquisición. A continuación, se muestra datos característicos del microcontrolador.

Tabla 3, Datos característicos del microcontrolador

Microcontrolador PIC 16f886	
Memoria de Programa (Flash)	8192 words
SRAM (Bytes)	368
EEPROM (Bytes)	256
I/O	24
Consumo de potencia	220 μ A

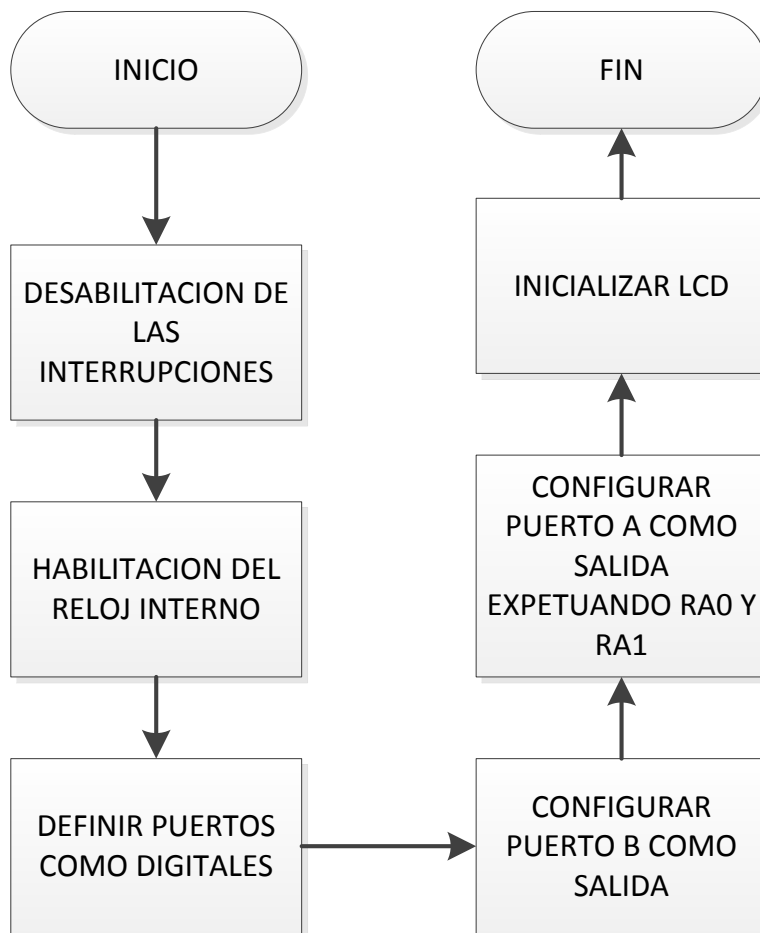
Para la programación del microcontrolador se utilizó MICROC que es un software de programación utilizando el lenguaje C, esta es una herramienta de programación muy útil debido a que facilita en ciertos casos la programación. A continuación se presenta el diagrama de bloques que representa la lógica del programa.

Figura 27, Diagrama de flujo del Main del programa



En este diagrama de flujo se describe la lógica a seguir para programar el main del programa, básicamente consta en la inicialización del microcontrolador, la bienvenida y luego entra en loop infinito en donde llama a la función suma y si detecta cambio de estado en puerto x llama a la función revisar bandera.

Figura 28, Diagrama de flujo de la función INICIALIZACIÓN



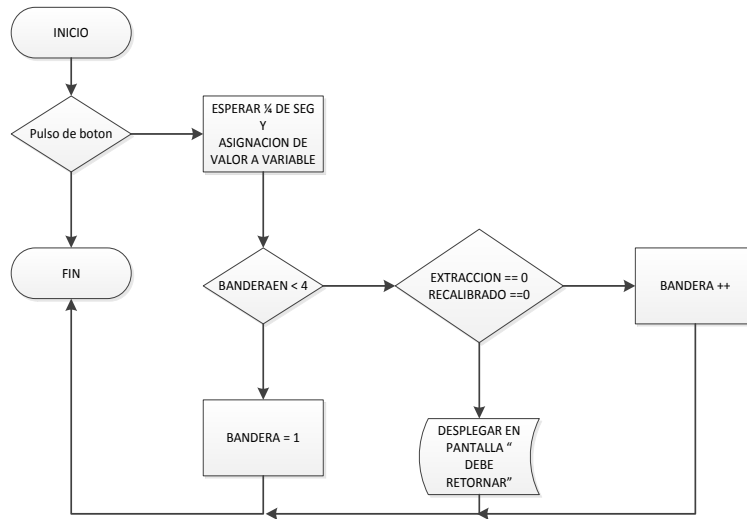
Este diagrama lo que representa es la configuración del microcontrolador, en donde se deshabilitan las interrupciones, se habilita el reloj interno, se inicializa la LCD, etc.

Figura 29, Diagrama de flujo de la función BIENVENIDA



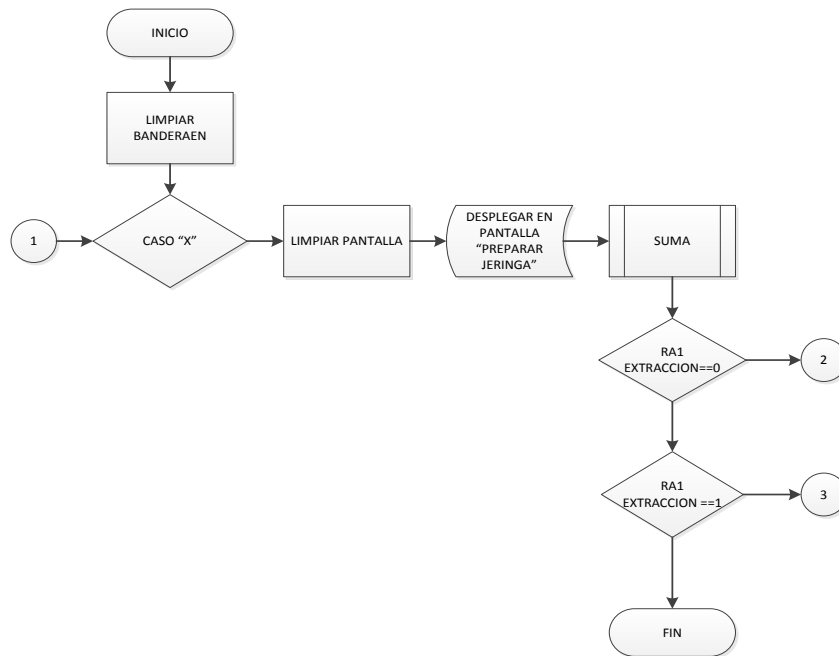
La función bienvenida básicamente consta en desplegar en pantalla (LCD) la bienvenida al usuario.

Figura 30, Diagrama de flujo de la función SUMA



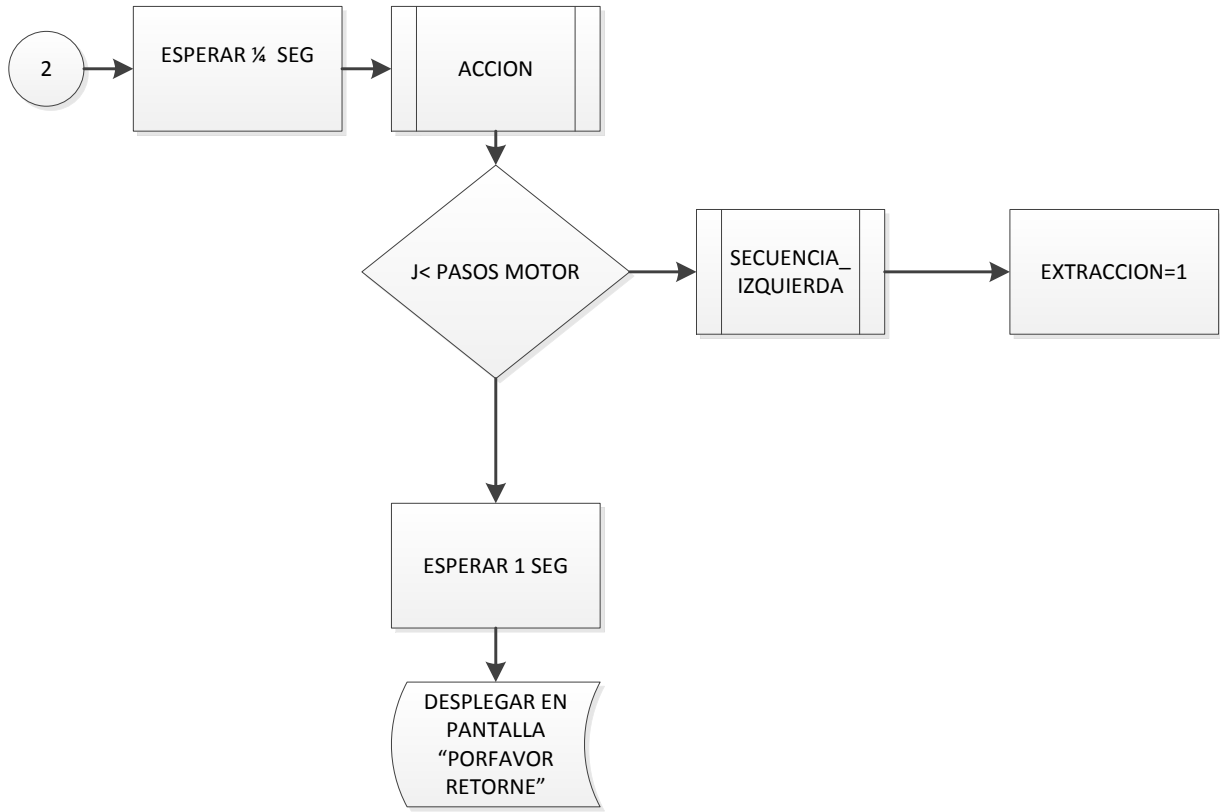
En la función suma, la lógica implementada es que si se detecta cambio de estado en X entrada, se asignará un valor a una variable para que esta pueda ser comparada en el Main del programa, además se compara la cantidad de veces que se ha presionado el botón si el valor es menor a 4 se aumentara la cuenta y si es mayor se reinicia la variable a 1 para poder hacer un ciclo continuo.

Figura 31, Diagrama de flujo de la función REVISAR BANDERA



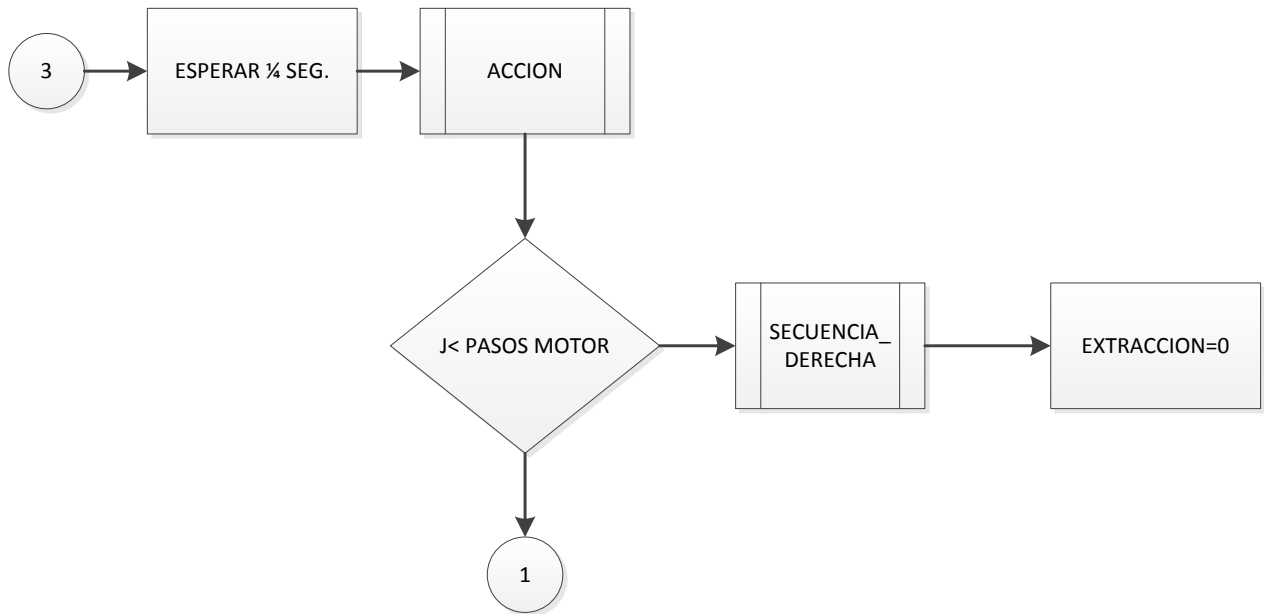
La función Revisar bandera es la encargada desplegar y accionar cada una de las opciones que posee el menú dependiendo del valor que se encuentra en la variables que se incrementa en la función suma.

Figura 32, Primera continuación del diagrama de flujo de la función REVISAR BANDERA



Compara si se detecta un cambio de estado en el puerto y la variable extracción es igual a 0 para después hacer que el motor gire a la izquierda.

Figura 33, Segunda continuación del diagrama de flujo de la función REVISAR BANDERA



Compara si se detecta un cambio de estado en el puerto y la variable extracción es igual a 1 para después hacer que el motor gire a la derecha.

En el diagrama de flujo de la función revisar bandera, la lógica es igual para cada uno de los cuatro casos que se tiene.

El diagrama de flujo muestra con exactitud el funcionamiento del programa del microcontrolador. Este incluye programación defensiva que no permite hacer saltos en el funcionamiento del sistema. En la sección de anexos se incluye el programa del microcontrolador.

Después de la programación del microcontrolador se puntualizó y concreto en estandarizar todo el proceso (extracción e implementación) esto con el fin de reducir tanto la variabilidad y el error en los resultados. Ya teniendo en cuenta la estandarización del proceso se realizó la calibración del sistema que en resumen es establecer la cantidad de vueltas para cada una de las opciones de extracción.

D. MUESTRAS

Para la correcta obtención de muestras del medicamento extraído y suministrado se tuvo que estandarizar todo el proceso en sí, desde el método de extracción hasta el método de implementación. Para las mediciones de las muestras se utilizó un tubo capilar y una regla, en esencia el procedimiento consistió en suministrar la dosis extraída dentro del tubo capilar y medir la longitud del menisco que se formó, cada milímetro lineal corresponde a un micro litro. Se decidió utilizar este método debido a que se caracteriza por ser preciso y exacto, además es un método sumamente económico y fácil de realizar.

A continuación, se presenta la estandarización del proceso completo.

E. Estandarización de la extracción.

- Cebado de la jeringa (sin burbujas de aire) por medio de la selección en el menú del artefacto. A continuación se muestra imagen de una jeringa cebada.

Figura 34, Jeringa cebada



- Extracción de la cantidad deseada (10 μL , 20 μL o 30 μL) según opciones del menú.
- Retirar la jeringa del artefacto.
- Ya teniendo la jeringa con la dosis elegida halar el émbolo de la jeringa (figura 35), con el fin de retraer todo el líquido que se encuentra dentro de la aguja y dejar la burbuja de aire, que viene en la superficie del líquido aproximadamente 2 a 3 mm arriba del primer indicador de medición de la jeringa (Figura 36) y por ultimo empujar el embolo de la jeringa de tal forma que la superficie del medicamento quede a nivel con la cara superior de la jeringa (Figura 37 y 38), ver imágenes a continuación.

Figura 35, Representación de la extracción del volumen de la aguja



Figura 36, Distancia aproximada donde debe quedar el volumen total en la jeringa



Figura 37, Acción para llevar al medicamento a la superficie superior de la jeringa



Figura 38, Medicamento a nivel de la superficie superior de la jeringa



- Cambiar la aguja por una nueva para la inserción, ver imagen a continuación.

Figura 39, Jeringa con nueva aguja lista para aplicar.



F. Estandarización de la implementación.

Para la implementación (inyectar) de las dosis extraídas se necesita que la fuerza que se aplique al embolo sea constante con un velocidad media, ya que si esta se aplica con un velocidad variable ya sea alta o baja, la dosis variará de forma significativa.

El motivo de por qué la velocidad de aplicación afecta es porque como se tiene liquido de base que sirve como impulsor, el cual es el que se le extrajo a la aguja, la velocidad de aplicación producirá que el líquido de base salga o no salga, esto porque si se aplica una mayor velocidad el líquido dentro de la jeringa tendrá más inercia.

VII. RESULTADOS

Para conocer la variabilidad de los resultados se hicieron 60 mediciones para cada una de las opciones de extracción que se tiene, para una buena representación de la población (70 dosis) se optó por tener un 95% de confiabilidad y un 5% de error, se seleccionaron esos parámetros debido a que es un proyecto en donde no hay antecedentes por lo que se tienen que tener resultados con mucha repetitividad. Ver en la sección de anexos las tablas con los resultados de las muestras.

A. Resultados de 10 μL .

Gráfico 1, Resultado de muestras de 10 μL

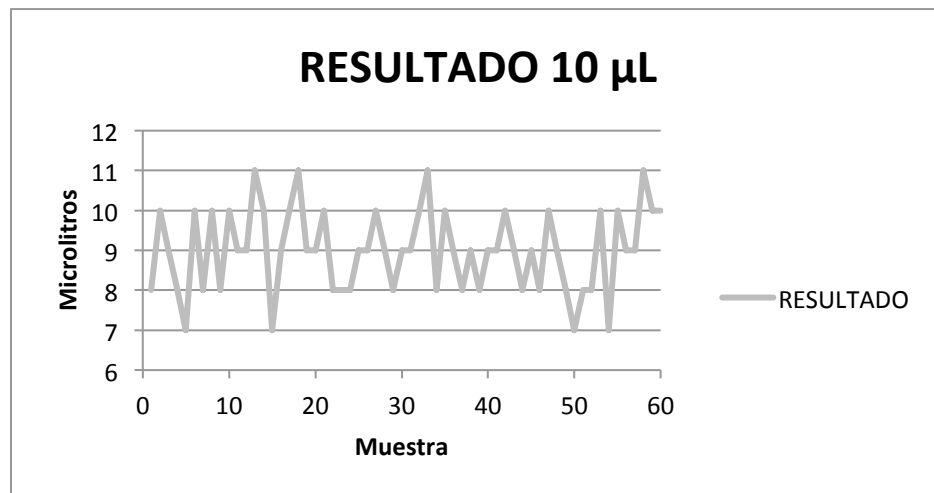
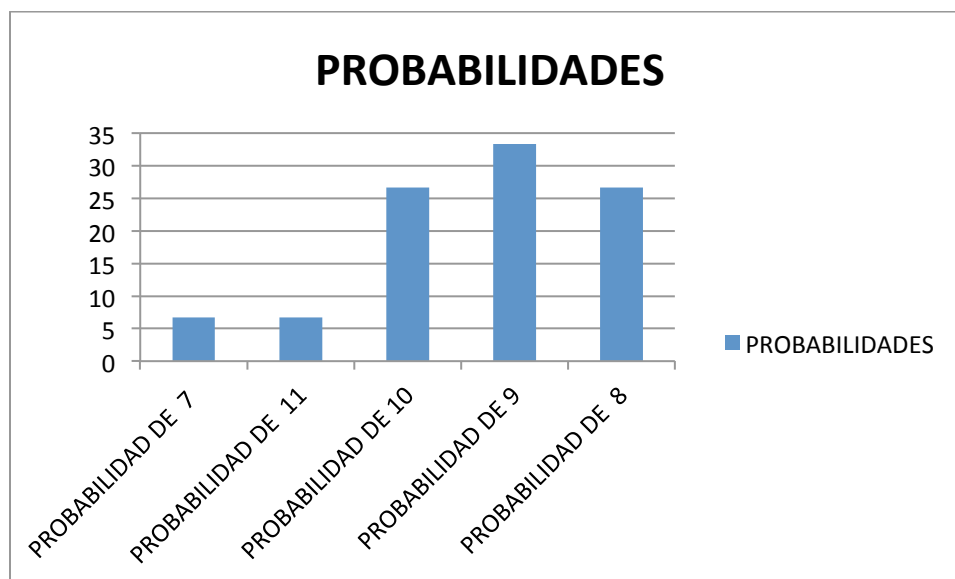


Tabla 4, Datos estadísticos de 10 μL

DATO ESTADISTICO	VALOR
MEDIANA	9
VARIANZA	1.08474576
DESVIACION ESTANDAR	1.04151129
MINIMO	7
MAXIMO	11
PROBABILIDAD DE QUE SALGA 7	6.6666667
PROBABILIDAD DE QUE SALGA 11	6.6666667
PROBABILIDAD DE QUE SALGA 10	26.6666667
PROBABILIDAD DE QUE SALGA 9	33.3333333
PROBABILIDAD DE QUE SALGA 8	26.6666667

Gráfico 2, Histograma de probabilidades de la extracción de 10 microlitros.



El porcentaje de error de esta dosis es del 30%, este porcentaje representa una variación de hasta 3 μL .

Figura 40, Resultado de la medición de 10 μL



Según los resultados estadísticos obtenidos se puede apreciar que la media obtenida es de 9 μL , que representa un 33.33% de la muestras, esto quiere decir que en el mayor de los casos la dosis con mayor repetitividad será de 9 μL y su error con respecto a la dosis ideal es del 10%. Además la dosis mínima serán de 7 μL y la probabilidad de que salga esta dosis será de un 6.66%, la dosis máxima obtenida fue de 11 μL y la probabilidad de que salga esta dosis es del 6.66%, el porqué de las bajas probabilidades del mínimo y máximo es debido a que la carrera del embolo es muy corta por lo que no da opción de tener mucha inercia.

A. RESULTADOS 20 ML

Gráfico 3, Resultado de muestras de 20 μL

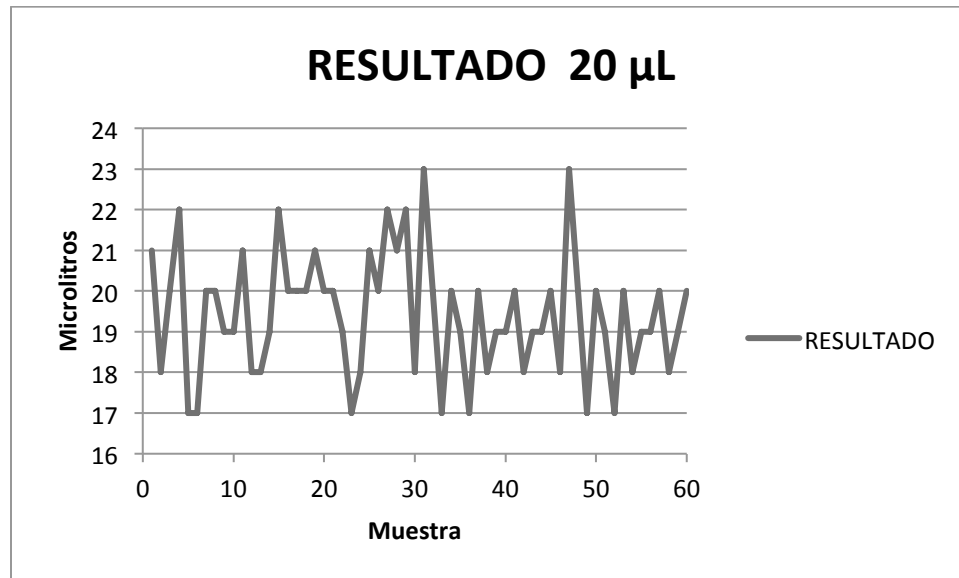


Gráfico 4, Histograma probabilidades de 20 microlitros.

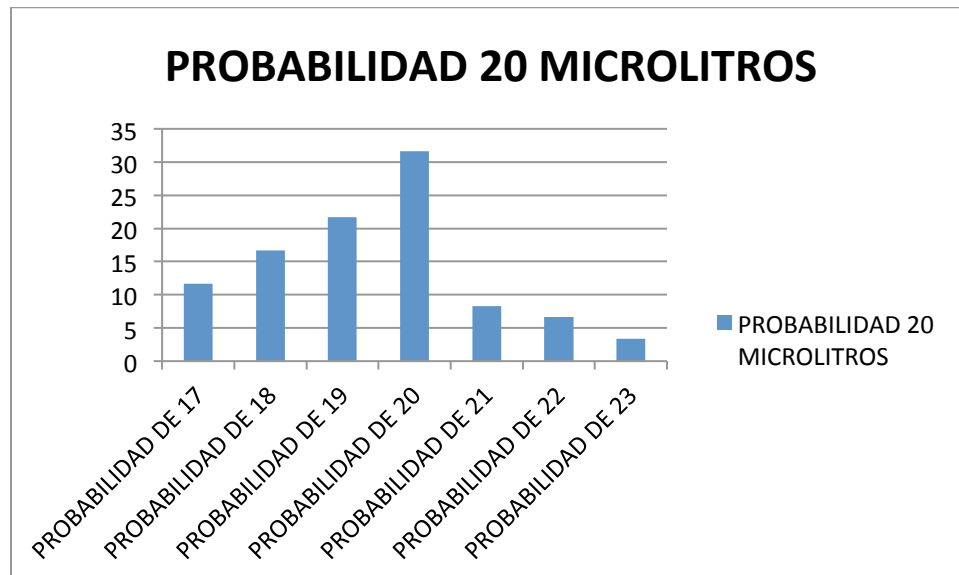


Tabla 5, Datos estadísticos de 20 μL

DATO ESTADÍSTICO	RESULTADO
MEDIANA	19.5
VARIANZA	2.28107345
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1.5103223
MÍNIMO	17
MÁXIMO	23
PROBABILIDAD DE 17	11.6666667
PROBABILIDAD DE 18	16.6666667
PROBABILIDAD DE 19	21.6666667
PROBABILIDAD DE 20	31.6666667
PROBABILIDAD DE 21	8.33333333
PROBABILIDAD DE 22	6.6666667
PROBABILIDAD DE 23	3.33333333

El porcentaje de error de esta dosis es del 15%, este porcentaje representa una variación de hasta 3 μL .

Figura 41, Resultado de la medición de 20 μL 

Según los resultados estadísticos obtenidos se puede apreciar que la media obtenida es de 19.5 μL , que representa un 21.66% de la muestras, la dosis con mayor repetitividad será la de 20 μL la cual tiene una representación del 31.66%. Además la dosis mínima es de 17 μL y la probabilidad de que salga esta dosis será de un 11.66%, la dosis máxima obtenida es de 23 μL y la probabilidad de que salga esta dosis es del 3.3%, el porqué de que el mínimo tenga una mayor probabilidad a comparación con el máximo, es debido a que en esta medida se tiene una mayor carrera, por lo que el usuario es más precavido a la hora de la implementación, teniendo en cuenta la velocidad media de aplicación.

B. RESULTADOS 30 ML

Gráfico 5, Resultado de muestras de 30 μL

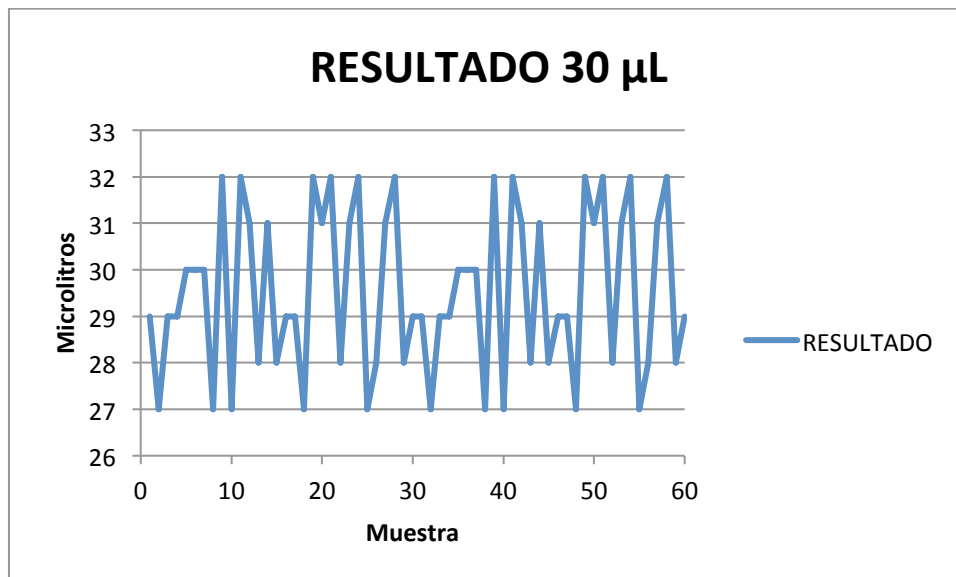


Gráfico 6, Histograma probabilidad 30 microlitros.

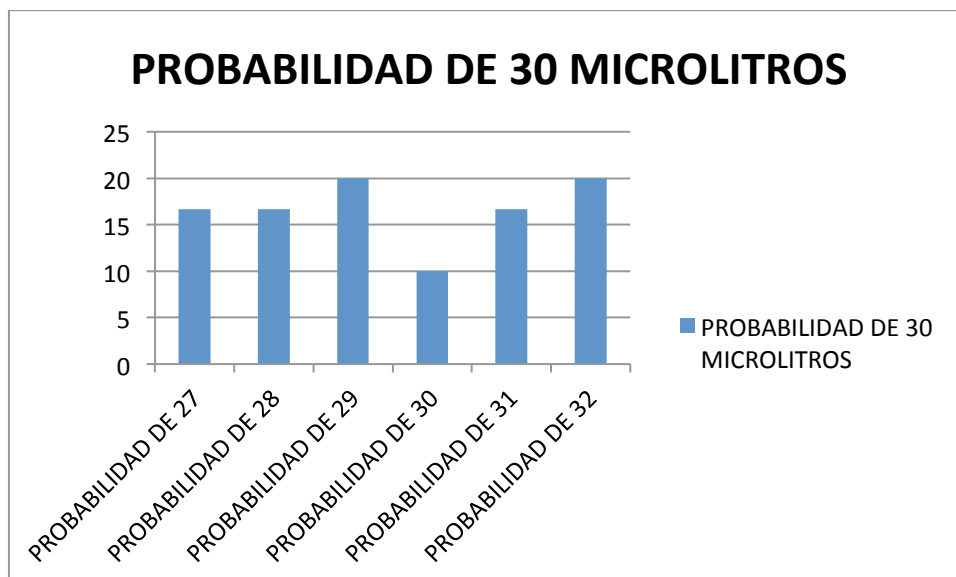


Tabla 6, Datos estadísticos de 30 μL

DATO ESTADISTICO	RESULTADO
MEDIANA	29
VARIANZA	3.21800117
DESVIACION ESTANDAR	1.79387881
MINIMO	27
MAXIMO	32
PROBABILIDAD DE 27	16.6666667
PROBABILIDAD DE 28	16.6666667
PROBABILIDAD DE 29	20
PROBABILIDAD DE 30	10
PROBABILIDAD DE 31	16.6666667
PROBABILIDAD DE 32	20

El porcentaje de error de esta dosis es del 10%, este porcentaje representa una variación de hasta 3 μL .

Figura 42, Resultado de la medición de 30 μL 

Según los resultados estadísticos obtenidos en las mediciones de 30 μL se obtuvo como media 29 μL , dosis que tiene un porcentaje de error del 3.33% con respecto a la dosis ideal la cual es de 30 μL , además la probabilidad de obtener una dosis de 29 μL es del 20%, dosis que obtiene el doble de probabilidad con respecto a la ideal que es la dosis de 30 μL . La dosis

mínima es de 27 μL con una probabilidad del 16.66% y la máxima de 32 μL con una probabilidad del 20%, ambas dosis tienen una probabilidad muy alta, pero son dosis aceptables. Sin embargo el factor crítico como en los casos anteriores (10 y 20 μL) es la velocidad de aplicación.

C. PLATAFORMA

Figura 43, Plataforma real

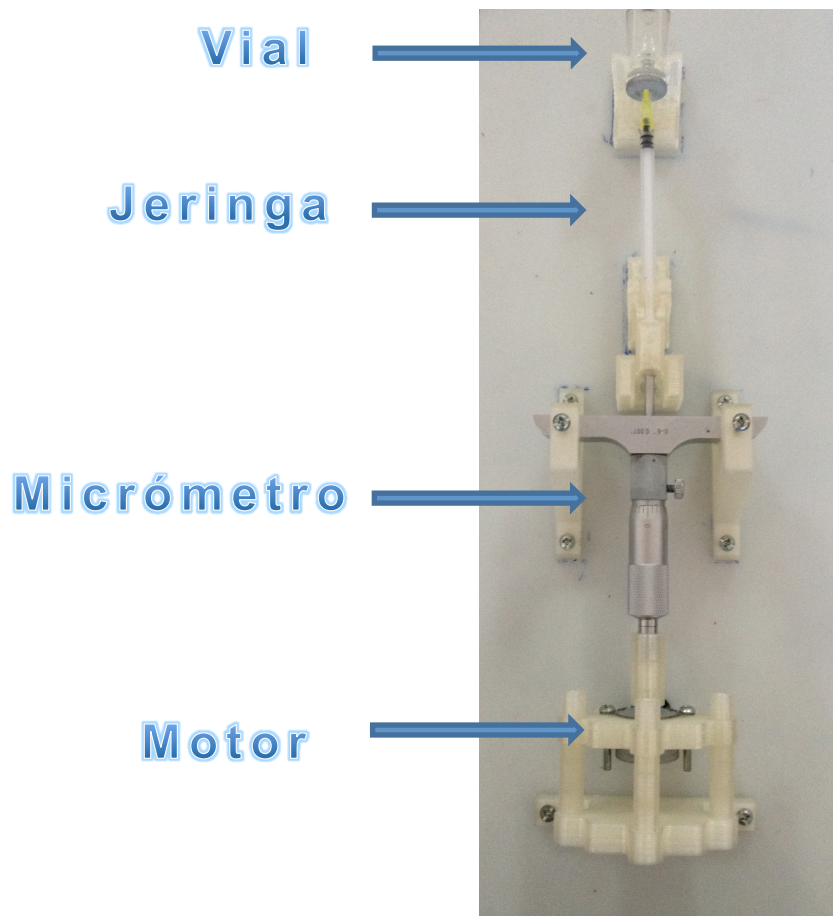


Tabla 7, Características física

Características	
Peso	2.5 lbs
Dimensiones plataforma retenedora	44 X 20 cms.
Dimensiones base	44 X 44 cms
Material piezas retenedoras	PLA
Voltaje nominal	5 voltios
Consumo de corriente aproximado	430 mA.
Resolución mínima	10 microlitros.
Resolución máxima	30 microlitros.
Tiempo de preparación	2 min 50 seg.
Tiempo máximo de extracción (30 microlitros)	56 seg.

VIII. CONCLUSIONES

- Se logró construir un artefacto capaz de suministrar pequeñas dosis a una jeringa para el procedimiento de la Retinopatía del Prematuro y del Diabético.
- Se construyó un artefacto capaz de extraer dosis menores de 25 μL de medicamento para el caso de la retinopatía del prematuro y menores a los 50 μL para la retinopatía del diabético.
- El proceso de extracción no requiere en lo absoluto de intervención humana debido a que se creó un sistema totalmente automático en donde lo único que se manipula es el menú de selección de dosis.
- El elemento que impide la implementación de dosis inferiores a 10 μL es la jeringa debido a la tensión superficial que poseen los materiales de la misma, provocando que la dosis se quede en las paredes de la jeringa.
- La velocidad de aplicación es proporcional a la variación de la dosis ya suministrada, a mayor velocidad de aplicación mayor dosis.
- El desperdicio de medicamento es básicamente el volumen de la aguja de la jeringa, que se utiliza para realizar el empuje en vez de aire que introducían con anterioridad.

IX. RECOMENDACIONES

- Para futuras modificaciones utilizar un motor lineal para optimizar espacio.
- Si se sigue utilizando el motor paso a paso cambiar el soporte de movimiento del motor con ejes, por un soporte con cola de milano para tener un mejor desplazamiento e impedir el juego que se tiene con la pieza con ejes.
- Construcción de piezas con un material resistente al calor ya que el utilizado (PLA) no es resistente a altas temperaturas.
- No tratar de ejercer movimiento con todas las piezas interconectadas ya que puede ocasionar daño a los componentes internos del micrómetro como del motor.

X. BIBLIOGRAFÍA

1. Bricogeek. (2013). Retrieved from [www.bricogeek.com](http://www.bricogeek.com/shop/60-driver-darlington-8-canales-ult2803-dip.html): <http://www.bricogeek.com/shop/60-driver-darlington-8-canales-ult2803-dip.html>
2. Dorland, D. e. (1974). *retinopatía* (vigésimo sexta edición ed.). Editorial interamericana.
3. Harder, B. C. (2013). Retrieved from Acta ophthalmologica : [http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/\(ISSN\)1755-3768/issues?activeYear=2013](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/(ISSN)1755-3768/issues?activeYear=2013)
4. Kate M. Cronan. (2009). Retrieved from www.Kidshealth.org: http://kidshealth.org/parent/en_espanol/medicos/rop_esp.html#
5. Medlineplus. (2013). Retrieved from www.nlm.nih.gov: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001212.htm>
6. Mikroelektronika. (2013). Retrieved from www.mikroe.com: <http://www.mikroe.com/chapters/view/80/>
7. MikroElektronika. (2013). Retrieved from www.mikroe.com: <http://www.mikroe.com/chapters/view/79/capitulo-1-el-mundo-de-los-microcontroladores/>
8. S, P. A. (2004, diciembre). Retrieved from www.olimex.cl: <http://www.olimex.cl/tutorial/tutorial6.pdf>
9. TL, T. (n.d.). *Extreme prematurity and fibroblastic overgrowth of persistent vascular sheath behind each crystalline lens*.
10. Wikipedia. (2013, septiembre). Retrieved from www.wikipedia.com: http://es.wikipedia.org/wiki/Lenguaje_de_alto_nivel
11. Wikipedia. (2013). Retrieved from www.wikipedia.com: http://es.wikipedia.org/wiki/Fuente_de_alimentaci%C3%B3n
12. Wikipedia. (2013, septiembre). Retrieved from www.wikipedia.com: http://es.wikipedia.org/wiki/Fuente_de_alimentaci%C3%B3n
13. Wikipedia. (2013, Septiembre). Retrieved from www.wikipedia.com: http://es.wikipedia.org/wiki/Unidad_central_de_procesamiento
14. Wikipedia. (2013, septiembre). Retrieved from www.wikipedia.com: <http://es.wikipedia.org/wiki/Programaci%C3%B3n>
15. Wikipedia. (2013, septiembre). Retrieved from www.wikipedia.com: [http://es.wikipedia.org/wiki/Micr%C3%B3metro_\(instrumento\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Micr%C3%B3metro_(instrumento))

XI. ANEXOS

```
// UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
// TRABAJO DE GRADUACION ING MECATRONICA
// PABLO JAVIER AZURDIA LÓPEZ
// #08308
```

```
// INICIALIZACION Y SELECCION DE PUERTOS PARA PANTALLA LCD
```

```
sbit LCD_RS at RB4_bit;
sbit LCD_EN at RB5_bit;
sbit LCD_D4 at RB0_bit;
sbit LCD_D5 at RB1_bit;
sbit LCD_D6 at RB2_bit;
sbit LCD_D7 at RB3_bit;
```

```
sbit LCD_RS_Direction at TRISB4_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISB5_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISB0_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISB1_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISB2_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISB3_bit;
```

```
// DECLARACION DE VARIABLES
```

```
short int bandera=0;
short int bandera1=0;
char banderaen = 0;
int j=0;
int j1=0;
int extraccion=0;
int recalibrado=0;
char *desplegar;
char *desplegar1;
```

```
// FUNCION DONDE SE SETEAN LOS PARAMETROS DE INICIALIZACION DEL PIC, TALES
COMO
```

```
// OSCILADOR INTERNO, ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES, PANTALLA LCD, ENTRE
OTROS
```

```
void inicializacion() {
    INTCON = 0; // DESABILITA LAS INTERRUPCIONES DEL PIC
    OSCCON.SCS = 1; // OSCCON.SCS HABILITA EL RELOJ INTERNO DEL PIC
    OSCCON.IRCF0 = 1; // OSCCON.IRCF0-2 SELECCIONA LA TASA DEL RELOJ 8Mhz
```

```

OSCCON.IRCF1 = 1 ;
OSCCON.IRCF2 = 1 ;
ANSEL = 0;          //SOLO PUERTOS DIGITALES
ANSELH = 0;        //SOLO PUERTOS DIGITALES
PORTB=0;
PORTA = 0;        //El puerto A se pone a cero todos los valores
//PORTC = 0;
TRISB = 0b00000000;
TRISA = 0b00000011; //Seleccion del puerto A0 como entrada.
TRISD = 0b00000000;
//TRISC = 0b00000000;
Lcd_Init();        // Inicializacion de la LCD
}
//DECLARACION DE VARIABLES PARA GUARDAR EN MEMORIA RAM
const char part1[] = "EXTRAER";
const char part2[] = "PREPARAR";
const char part3[] = "RECALIBRE";
const char part4[] = "POR FAVOR";
const char part5[] = "FINALIZADO";
const char part6[] = "RECALIBRANDO";
const char part7[] = "RETORNE";
char msg[16]; //DECLARANDO ARREGLO

// COPIANDO CONSTANTE A RAM
char * CopyConst2Ram(char * dest, const char * src){
char * d ;
d = dest;
for(*dest++ = *src++;)
;
return d;
}

// SECUENCIA IZQUIERDA ES LA ENCARGADA DE QUE EL MOTOR GIRE A LA IZQUIERDA
// BASICAMENTE COLOCA BA CAMBIANDO EL BIT EN LOS PUERTOS.
void secuencia_izquierda(){

RA2_bit=1;
RA3_bit=0;
RA4_bit=0;
RA5_bit=1;
Delay_ms(1);

RA2_bit=0;
RA3_bit=0;
RA4_bit=0;
RA5_bit=1;
Delay_ms(1);

RA2_bit=0;

```

```

    RA3_bit=0;
    RA4_bit=1;
    RA5_bit=1;
    Delay_ms(1);

    RA2_bit=0;
    RA3_bit=0;
    RA4_bit=1;
    RA5_bit=0;
    Delay_ms(1);

    RA2_bit=0;
    RA3_bit=1;
    RA4_bit=1;
    RA5_bit=0;
    Delay_ms(1);

    RA2_bit=0;
    RA3_bit=1;
    RA4_bit=0;
    RA5_bit=0;
    Delay_ms(1);

    RA2_bit=1;
    RA3_bit=0;
    RA4_bit=0;
    RA5_bit=0;
    Delay_ms(1);

    RA2_bit=0;
    RA3_bit=0;
    RA4_bit=0;
    RA5_bit=0;
    Delay_ms(1);
}
// SECUENCIA DERECHA ES LA ENCARGADA DE QUE EL MOTOR GIRE A LA DERECHA
// BASICAMENTE COLOCA BA CAMBIANDO EL BIT EN LOS PUERTOS.
void secuencia_derecha(){
    RA2_bit=0;
    RA3_bit=0;
    RA4_bit=0;
    RA5_bit=0;
    Delay_ms(1);

```

```
RA2_bit=1;
RA3_bit=0;
RA4_bit=0;
RA5_bit=0;
Delay_ms(1);
```

```
RA2_bit=1;
RA3_bit=1;
RA4_bit=0;
RA5_bit=0;
Delay_ms(1);
```

```
RA2_bit=0;
RA3_bit=1;
RA4_bit=0;
RA5_bit=0;
Delay_ms(1);
```

```
RA2_bit=0;
RA3_bit=1;
RA4_bit=1;
RA5_bit=0;
Delay_ms(1);
```

```
RA2_bit=0;
RA3_bit=0;
RA4_bit=1;
RA5_bit=0;
Delay_ms(1);
```

```
RA2_bit=0;
RA3_bit=0;
RA4_bit=1;
RA5_bit=1;
Delay_ms(1);
```

```
RA2_bit=0;
RA3_bit=0;
RA4_bit=0;
RA5_bit=1;
Delay_ms(1);
```

```
RA2_bit=1;
RA3_bit=0;
RA4_bit=0;
RA5_bit=1;
Delay_ms(1);
```

```

}

// FUNCION SUMA ES LA ENCARGADA DE HACER LA SUMATORIA PARA SABER LA
CANTIDAD
//SE DESEA EXTRAER (LA OPCION).

void suma() {
  if (PORTA.B0) { // SE VERIFICA SI EL BIT 0 DEL PUERTO A ESTA ENCENDIDO
    delay_ms(250); // SE ESPERA 250 mS
    banderaen = 0xAA; // SE LE ASIGNA EL VALOR AA A LA VARIABLE BANDERAEN
    if (bandera < 4) { //COMPARA SI LA VARIABLE BANDERA ES MENOR A 4
      if ( extraccion == 0 && recalibrado == 0 ){ // COMPARA SI LA BANDERA EXTRACCION
ESTA EN CERO
          // COMO TAMBIEN LA BANDERA RECALIBRADO
          bandera++; // SI SE CUMPLE LA CONDICION LE SUMA UNO A BANDERA
        }
      else if (extraccion == 1 ) { // SINO SE CUMPLE COMPARA SI LA BANDERA
EXTRACCION ESTA EN 1
          Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // SI SE CUMPLE LIMPIA LA PANTALLA
          desplegar ="DEBE" ; // ASIGNA LO QUE SE DESEA DESPLEGAR
          lcd_out(1,6,desplegar); // ORNEDA DESPLEGAR EL TEXTO EN PANTALLA
          desplegar1= "RETORNAR";
          lcd_out (2,3,desplegar1);
        }
      }
    else { // SINO SE CUMPLE LA CONDICION
      bandera = 1; // LE ASIGNA EL VALOR 1 A BANDERA
    }
  }
}

//ACCION LO QUE HACE ES DESPLEGAR EN PANTALLA LA ACCION QUE SE REALIZA EN
ESE MOMENTO
void accion (){
  if (extraccion == 0) {
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // LIMPIA LA LCD
    desplegar = "EXTRAYENDO";
    Lcd_Out(1,4,desplegar);
  }
  else if (extraccion == 1){
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // LIMPIA LA LCD
    desplegar = "RETORNANDO";
    Lcd_Out(1,4,desplegar);
  }
}

// REVISAR BANDERA ES LA FUNCION ENCARGADA DE VERIFICAR EL VALOR DE LA
SUMA

```

```

// Y ASI PODER DESPLECAR EN PANTALLA SEGUN EL VALOR DE SUMA

void Revisar_bandera() {
    banderaen = 0x00;          // LIMPIA LA VARIABLE BANDERAEN
    inicio: switch (bandera) { // CONDICION QUE MIRA EL VALOR DE BANDERA
        case 1: {              // OPCION 1 PREPARA JERINGA
            Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // LIMPIA PANTALLA
            Lcd_Out(1,5, CopyConst2Ram(msg,part2)); // DESPLIEGA TEXTO QUE ESTA EN RAM
            desplegar1 = "JERINGA";
            Lcd_Out(2,5, desplegar1);

            while(bandera == 1){ //HACE UN LOOP MIENTRAS BANDERA 1 =1
                suma();          // VERIFICA LA FUNCION SUMA

                if (PORTA.B1 && extraccion == 0) { // SE VERIFICA SI EL BIT 0 DEL PUERTO A
                    ESTA ENCENDIDO
                        delay_ms(250); // SE ESPERA 250 mS
                        accion ();      // LLAMA A ACCION
                        for (j=0;j< 8704; j++){ // HACE UNA SECUENCIA HASTA QUE SE CUMPLA EL
                            NUMERO (8704)
                                secuencia_izquierda(); // LLAMA A SECUENCIA IZQUIERDA
                                extraccion=1;          // LE ASIGNA VALOR A EXTRACCION
                                }
                                delay_ms(1000);      // ESPERA 1 SEGUNDO
                                Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // LIMPIA PANTALLA
                                Lcd_Out(1,5, CopyConst2Ram(msg,part4)); //DESPLIEGA TEXTO ALMACENADO EN
                                RAM
                                Lcd_Out(2,6, CopyConst2Ram(msg,part7)); // DESPLIEGA TEXTO ALMACENADO EN
                                RAM
                                }
                    else if (PORTA.B1 && extraccion == 1) { // VERIFICA SI SE CUMPLEN LAS DOS
                        CONDICIONES
                            delay_ms(250);          // ESPERA UN CUARTO DE SEGUNDO
                            accion ();              // LLAMA A ACCION
                            for (j1=0;j1< 9728; j1++){ // HACE UN LOOP HASTA SE CUMPLA EL NUMERO O
                                CONDICION
                                    secuencia_derecha(); // LLAMA A SECUENCIA DERECHA
                                    extraccion = 0;      // LE ASIGNA EL VALOR CERO A EXTRACCION
                                    }
                                    goto inicio;        // SE VA A INICIO
                                }
                            }
                            break;                    // TERMINA EL LOOP
                        }
                    case 2: { // OPCION 2 (CANTIDAD DE 10 MICROS)

                        Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);

```

```

Lcd_Out(1,5,CopyConst2Ram(msg,part1));
desplegar = "10 microL";
Lcd_Out(2, 4, desplegar);

while(bandera == 2){
suma();

if (PORTA.B1 && recalibrado == 0) {
    delay_ms(250);
    accion ();
    for (j=0;j< 3584; j++){
        secuencia_izquierda();
    }
    extraccion=1;
    delay_ms(2000);
    accion();
    for (j1=0;j1< 1024; j1++){
        secuencia_derecha();

    }
    extraccion = 0;
    recalibrado = 1;
    delay_ms(1000);
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
    Lcd_Out(1,4,CopyConst2Ram(msg,part5));
    delay_ms(3000);
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
    Lcd_Out(1,4,CopyConst2Ram(msg,part3));
    Lcd_Out(2,4,CopyConst2Ram(msg,part4));

}
else if (PORTA.B1 && recalibrado == 1) {
    delay_ms(250);
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
    Lcd_Out(1,3,CopyConst2Ram(msg,part6));
    goto inicio;
}
}
break;          // TERMINA EL LOOP
}
case 3: {          // OPCION 3 (CANTIDAD DE 20 MICROS)

    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
    Lcd_Out(1,5,CopyConst2Ram(msg,part1));
    desplegar = "20 microL" ;
    Lcd_OUT(2,4,desplegar);

    while(bandera == 3){
    suma();
    if (PORTA.B1 && recalibrado == 0) {

```

```

delay_ms(250);
accion ();
for (j=0;j< 4096; j++){
secuencia_izquierda();
}
extraccion=1;
delay_ms(2000);
accion();
for (j1=0;j1< 1024; j1++){
secuencia_derecha();

}
extraccion = 0;
recalibrado = 1;
delay_ms(1000);
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
Lcd_Out(1,4,CopyConst2Ram(msg,part5));
delay_ms(3000);
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
Lcd_Out(1,4,CopyConst2Ram(msg,part3));
Lcd_Out(2,4,CopyConst2Ram(msg,part4));

}
else if (PORTA.B1 && recalibrado == 1) {
delay_ms(250);
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
Lcd_Out(1,3,CopyConst2Ram(msg,part6));
for (j1=0;j1< 2048; j1++){
secuencia_derecha();
}
recalibrado = 0;
bandera = 1;
goto inicio;
}
}
break;          // TERMINA EL LOOP
}

case 4: {

Lcd_Out(1,5,CopyConst2Ram(msg,part1));
desplegar = "30 microL" ;
Lcd_OUT(2,4,desplegar); // DESPLIEGA EN LA LCD

while(bandera == 4){
if(recalibrado == 0){ // VERIFICA SI EL RECALIBRADO ESTA EN CERO PARA PODER
CONTINUAR LA SUMA
suma();
}
}

```



```

Lcd_Out(1, 4, desplegar); // MUESTRA EN LCD BIENVENIDO

LCD_OUT(2,6,desplegar1); //MUESTRA EN LCD DOCTOR
LCD_CMD(_LCD_CURSOR_OFF); // APAGA EL CURSOR
DELAY_MS(3500); // ESPERA 3.5 SEG

LCD_CMD(_LCD_CLEAR); //LIMPIA LA PANTALLA
desplegar = "QUE DESEA";

desplegar1= "HACER?";
LCD_OUT (1,4,desplegar); // MUESTRA EN LCD CUANTO DESEA
LCD_OUT (2,6,desplegar1); // MUESTRA EN LCD EXTRAER
}

// FUNCION PRINCIPAL

void main() {

inicializacion(); //LLAMA A LA FUNCION INICIALIZACION
bienvenida();
while (1) {
suma();
PORTD = bandera;
if (banderaen == 0xAA ) {
Revisar_bandera();
}
}
}
}

```

10 μ L			
PRUEBA	RESULTADO	PRUEBA	RESULTADO
1	8	37	8
2	10	38	9
3	9	39	8
4	8	40	9
5	7	41	9
6	10	42	10
7	8	43	9
8	10	44	8
9	8	45	9
10	10	46	8
11	9	47	10
12	9	48	9
13	11	49	8
14	10	50	7
15	7	51	8
16	9	52	8
17	10	53	10
18	11	54	7
19	9	55	10
20	9	56	9
21	10	57	9
22	8	58	11
23	8	59	10
24	8	60	10
25	9		
26	9		
27	10		
28	9		
29	8		
30	9		
31	9		
32	10		
33	11		
34	8		
35	10		
36	9		

20 μ L			
PRUEBA	RESULTADO	PRUEBA	RESULTADO
1	21	37	20
2	18	38	18
3	20	39	19
4	22	40	19
5	17	41	20
6	17	42	18
7	20	43	19
8	20	44	19
9	19	45	20
10	19	46	18
11	21	47	23
12	18	48	20
13	18	49	17
14	19	50	20
15	22	51	19
16	20	52	17
17	20	53	20
18	20	54	18
19	21	55	19
20	20	56	19
21	20	57	20
22	19	58	18
23	17	59	19
24	18	60	20
25	21		
26	20		
27	22		
28	21		
29	22		
30	18		
31	23		
32	20		
33	17		
34	20		
35	19		
36	17		

30 μ L			
PRUEBA	RESULTADO	PRUEBA	RESULTADO
1	29	37	30
2	27	38	27
3	29	39	32
4	29	40	27
5	30	41	32
6	30	42	31
7	30	43	28
8	27	44	31
9	32	45	28
10	27	46	29
11	32	47	29
12	31	48	27
13	28	49	32
14	31	50	31
15	28	51	32
16	29	52	28
17	29	53	31
18	27	54	32
19	32	55	27
20	31	56	28
21	32	57	31
22	28	58	32
23	31	59	28
24	32	60	29
25	27		
26	28		
27	31		
28	32		
29	28		
30	29		
31	29		
32	27		
33	29		
34	29		
35	30		
36	30		

