

# Diseño y Construcción de un Vitreófago Prototipo

Tatiana Benalcázar Vayas, Ingeniera en Electrónica y Control y Ramiro Valenzuela Peñafiel, MSc. in Control Systems<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, [tatysb29@gmail.com](mailto:tatysb29@gmail.com), [ramiro.valenzuela@epn.edu.ec](mailto:ramiro.valenzuela@epn.edu.ec)

**Resumen-** Los altos costos de las vitrectomías impiden que personas pobres puedan acceder a éstas, de allí la fabricación de un vitreófago prototipo para cirugía intraocular para tratar retinopatías diabéticas y problemas del humor vítreo, para mejorar la visión y evitar cegueras prematuras.

El vitreófago diseñado y construido es de un valor total accesible, con componentes de tipo estándar e insumos de bajo costo. Para la realización de este prototipo se asistió a las cirugías en el quirófano para comprender con más profundidad los requerimientos de la cirugía, procedimientos, técnicas e instrumentos. Se diseñó el hardware del sistema de corte, aspiración e irrigación y las fuentes de alimentación; en el sistema de corte se maneja la velocidad de cortes, en el de aspiración se genera y regula la presión de vacío y en el de irrigación se controla el ingreso de solución salina en el ojo. Se desarrolló el software para cada sistema para controlar los elementos periféricos con microcontroladores.

El vitreófago fue probado en ojos de cerdo en el quirófano, obteniéndose resultados satisfactorios, se demostró la eficiencia de la velocidad de cortes y aspiración durante la cirugía porque se mantuvo el tono ocular, impidiendo que el ojo colapse.

**Palabras clave**— vitreófago prototipo, retinopatía diabética, humor vítreo, ojos de cerdo.

## I. ENFERMEDADES QUE REQUIEREN UNA VITRECTOMÍA

Las afecciones que necesitan ser tratadas por medio de una cirugía de vitrectomía empleando un vitreófago están vinculadas con problemas en el humor vítreo, que pueden ser causadas por procesos infecciosos, enfermedades, traumatismos y procesos relacionados con la edad que afectan a las estructuras internas y externas del ojo; algunas de estas afecciones son: retinopatías diabéticas, catarata, glaucoma, desprendimiento de retina, desprendimiento de vítreo, degeneración macular asociada a la edad y agujeros maculares.

### A. Retinopatía diabética

Las retinopatías son afecciones retinianas de origen metabólico o degenerativo, la retinopatía diabética es la complicación micro vascular más frecuente de la diabetes mellitus crónica, ocurre cuando la diabetes daña los pequeños vasos sanguíneos de la retina.

En la diabetes se altera el mecanismo auto regulador del flujo sanguíneo retiniano, la pared vascular se engrosa y pierde su elasticidad, disminuye la velocidad del flujo y se produce una vasoconstricción y una vasodilatación

compensadora. En la sangre se produce un estado de hipercoagulación con aumento de la viscosidad sanguínea.

Una de las mayores causas de ceguera es la retinopatía diabética, que puede iniciarse en el proceso de evolución de la diabetes. El incremento progresivo de la retinopatía diabética implica una demanda cada vez mayor de cirugías de vítreo. En el examen del fondo de ojo se pueden observar: manchas rojas minúsculas, exudados duros en forma de manchas, hemorragias profundas, trombosis venosas y la proliferación de nuevos vasos en la superficie de la retina.

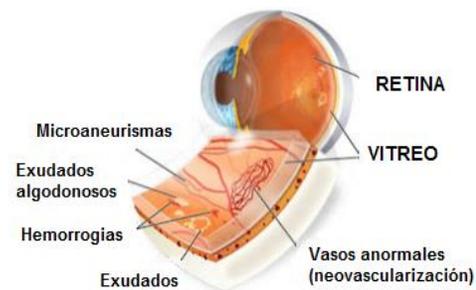


Fig. 1 Lesiones y alteraciones de la retinopatía diabética [2].

### B. Desprendimiento de retina

Es una enfermedad ocular provocada por la separación de la retina neurosensorial del epitelio pigmentario, con acumulación de líquido en el espacio entre ambas.

Cuando se producen desgarros o agujeros en la retina, ingresa y escapa el vítreo líquido por la ruptura al espacio subretinal, acumulándose detrás de la retina y produciendo la separación de la retina de la parte posterior del ojo.

Los síntomas se manifiestan con repentinos y espontáneos destellos de luz, similares a un rayo y conocidos como fotopsias.

También se presenta con cortinas de pérdida de visión que se desplazan por el campo visual, puntos flotantes o pérdida visual.

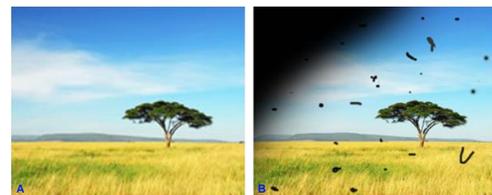


Fig. 2 Visión normal (A) y Visión con desprendimiento retiniano (B) [4].

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.301>  
ISBN: 978-0-9993443-0-9  
ISSN: 2414-6390

**15<sup>th</sup> LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology:** “Global Partnerships for Development and Engineering Education”, 19-21 July 2017, Boca Raton FL, United States.

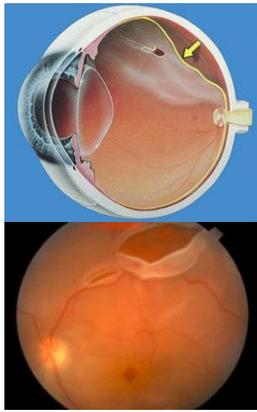


Fig. 3 Desprendimiento retinal [3].

### C. Desprendimiento del vítreo

Es la separación del humor vítreo de la retina en la parte posterior del globo ocular. Al envejecer el humor vítreo pierde su textura gelatinosa en el centro, el gel alrededor colapsa al centro y pequeños trozos de gel flotan y aparecen cuerpos flotantes.

El vítreo se contrae y el volumen disminuye, produciéndose una tracción a la retina para poder separarse. Este problema suele presentarse entre los 50 a 75 años, la separación del humor vítreo genera un estímulo percibido por el cerebro como luz. La visión se torna borrosa acompañada de destellos de luz, moscas, hilos y telarañas.

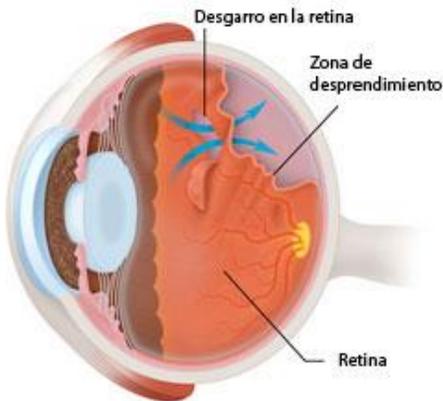


Fig. 4 Desprendimiento del vítreo [5].

La separación completa del humor vítreo hace que aumenten las moscas volantes o miodesopsias, las cuales son coágulos de sangre, células y fibras de colágeno que se mueven dentro del campo visual.

### D. Degeneración macular

Es una enfermedad progresiva de la mácula con degeneración del epitelio pigmentario de la retina, que destruye la agudeza de la visión central, la cual es necesaria para ver objetos y detalles con claridad.

Los síntomas se manifiestan con visión de líneas rectas que parecen torcidas y onduladas, manchas en el centro y pérdida de visión.



Fig. 5 Visión con degeneración macular [6].

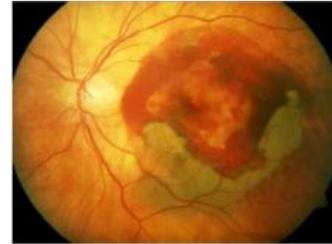


Fig. 6 Fondo de ojo con degeneración macular [7].

### E. Agujero macular

Es la ruptura de tejido en la zona central de la mácula, provoca un defecto de visión central o una zona de visión borrosa en el centro del campo visual. Los agujeros maculares suelen relacionarse con la edad y traumatismos oculares.

Se presenta con una visión ligeramente distorsionada o niebla en el centro, más tarde la visión empeora, se observa distorsión en líneas rectas, pérdida de la capacidad de lectura y en la etapa final puede ser muy difícil realizar tareas de visión central.

## II. MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE RETINOPATÍA DIABÉTICA

Debido a que existen muchas enfermedades y afecciones, de diversa naturaleza y causa, relacionadas al humor vítreo, se dará mayor énfasis a la retinopatía diabética ya que es una enfermedad considerada la principal causa de ceguera en personas de 20 a 74 años.

Los ensayos clínicos han demostrado la efectividad del control de la hiperglucemia e hipertensión, de la fotocoagulación y de la vitrectomía para tratar la retinopatía diabética. El láser es efectivo, pero provoca cicatrices y puede ocasionar pérdida visual central y periférica.

### A. Fotocoagulación

La fotocoagulación se realiza empleando un láser de argón a través de una lente de contacto. El tratamiento láser es

basado en la capacidad de absorción de luz por los tejidos, transformando la energía en calor.

Las fuentes para este tratamiento son: arco de xenón de luz blanca, láser de argón de luz verde, láser de kriptón de luz roja y láser DYE de luz amarilla a roja. El tratamiento láser usualmente no mejora la agudeza visual, solamente reduce la pérdida de visión comparado con ojos no tratados.

#### *B. Panfotocoagulación con Láser de Argón o Arco de Xenón*

Este tratamiento está indicado para la retinopatía diabética con características de alto riesgo de pérdida visual grave, en ojos con enrojecimiento del iris, en la prevención de glaucoma neovascular y hemorragia localizada de vítreo antes de que se extienda e impida realizar el tratamiento.

Se producen múltiples cicatrices periféricas en la retina, disminuyendo el consumo de oxígeno y protegiendo el crecimiento de la retinopatía diabética proliferativa; se debe evitar impactos en la mácula y haz maculo pupilar.

#### *C. Crioterapia*

Para este tratamiento se aplica un instrumento con una punta especial en forma de lápiz a la pared externa del ojo, produciéndose un congelamiento inmediato de los tejidos tratados, así como también de la retina.

El estímulo de congelación de la retina provoca una pequeña quemadura que permite cerrar la fuga de líquido procedente de vasos anormales y sellar desgarros o agujeros retinianos. Este método se usa para tratar problemas en la retina periférica y cuando existen opacidades que impiden el paso de la luz láser. El inconveniente de la crioterapia es la imposibilidad de visualizar el área tratada después de que se descongela, lo que puede dar lugar a un tratamiento excesivo.

#### *D. Vitrectomía*

Es una cirugía ocular desarrollada para remover el humor vítreo de la cavidad ocular empleando un vitreófago, se emplea para limpiar opacidades, aliviar la tracción en la retina y permitir el acceso a la retina para técnicas quirúrgicas adicionales. Esta cirugía consiste en la succión y corte del vítreo y la sustitución del vítreo por solución salina balanceada para mantener el tono ocular.

El principio de la vitrectomía es remover de forma segura tanto vítreo como sea posible con el mayor cuidado para minimizar el trauma a otras estructuras intraoculares particularmente a la retina. Para lo cual se emplea una técnica de baja succión y altos cortes, que permita que diminutos pedazos de vítreo sean succionados dentro de la punta de vitrectomía y expulsados hacia el vaso de residuos; de esta forma la tensión en el vítreo no es transmitida a la retina.

La cirugía está indicada cuando la fotocoagulación no puede controlar la retinopatía o no se puede realizar debido a hemorragias de vítreo o desprendimientos de retina que afectan al centro. La vitrectomía precoz es favorable en diabéticos con hemorragias de vítreo densas y persistentes y en ciertos casos de desprendimiento de retina. Este tratamiento es contraindicado en pacientes con anteriores desprendimientos de retina, retina isquémica y/o atrófica.

*Procedimiento:* Se mide 3.5 a 4 mm desde el limbo esclero-corneal para determinar el sitio de las esclerotomías (incisiones en la esclerótica).

En la rutina de vitrectomía se usan tres esclerotomías para introducir los instrumentos a través de ellas. Se debe iniciar con la esclerotomía para la cánula de infusión, ésta es creada en el cuadrante ínfero-temporal, debajo del meridiano horizontal.

La cánula de infusión se inserta dentro del trocar, se chequea la penetración de la cánula de infusión dentro de la cavidad vítrea de tal forma que la plataforma quede a ras de la superficie escleral.

Posteriormente se mide la posición y se realizan las otras dos esclerotomías superiores para desarrollar las maniobras quirúrgicas, una en el cuadrante supero temporal y la otra en el cuadrante supero nasal; estas esclerotomías servirán para introducir la punta de vitrectomía y la fuente de luz.

La vitrectomía se inicia con una presión de aspiración de 100 a 200 mmHg y velocidad de 600 a 1200 cortes por minuto. Se coloca la botella con solución salina balanceada a una altura aproximada de 50 cm sobre el ojo del paciente asumiendo una situación con presión sanguínea normal; este nivel de presión puede ser incrementado a 75 cm de altura durante procedimientos que requieren alto flujo.

Cuando se trabaja cerca de estructuras delicadas como la retina se debe usar altas velocidades de corte ya que se consiguen cortes más suaves y no se causa daños a la retina.

Durante la cirugía se empieza removiendo el vítreo central y posteriormente el vítreo periférico, los parámetros de presión de infusión, vacío y velocidad de corte son variados en el transcurso de la cirugía y dependen del problema ocular que el paciente padezca. En la Fig. 7 se observa el desarrollo de la cirugía con los instrumentos.

En todo el procedimiento debe mantenerse la irrigación de solución salina en el ojo para mantener la presión intraocular y evitar daño al epitelio corneal por sequedad.

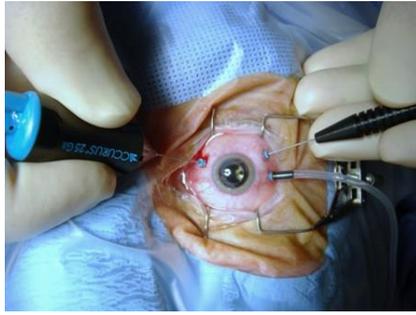


Fig. 7 Desarrollo de la cirugía de vitrectomía [8].

### III. VITREÓFAGO PROTOTIPO

El vitreófago es un equipo que permite realizar una cirugía de vitrectomía con la finalidad de extraer el humor vítreo y reemplazarlo. Se usa para tratar muchas afecciones relacionadas con el humor vítreo.

Los componentes empleados son de tipo estándar, para obtener un prototipo de bajo costo que esté formado por los tres sistemas de: corte, aspiración e irrigación; y, que cumpla con los parámetros estándar de una cirugía de vitrectomía.

En la siguiente figura se puede apreciar la estructura del prototipo.

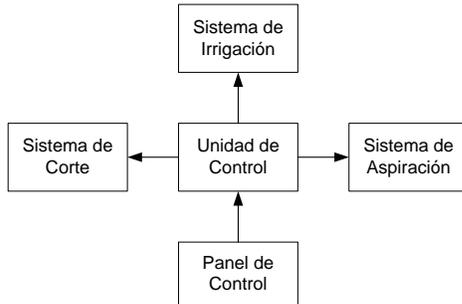


Fig. 8 Estructura del vitreófago prototipo.

Se emplea microcontroladores como unidad de control de cada sistema y el prototipo está formado por un panel en el cual se puede cambiar las variables del proceso de corte, aspiración y activar o desactivar la irrigación por medio de teclados. Dispone de tres pantallas para indicar el valor actual de cada parámetro de los sistemas del vitreófago.

#### A. Sistema de Corte

El sistema de corte permite controlar el número de cortes por minuto de la punta de vitrectomía para fragmentar el humor vítreo. La punta de vitrectomía está formada por una guillotina que se maneja neumáticamente y un resorte de retorno, el corte se produce en el orificio de esta herramienta cuando la guillotina baja por acción neumática.

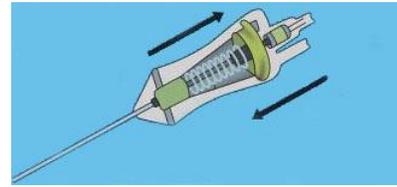


Fig. 9 Punta neumática de vitrectomía [1].

El sistema de corte permite obtener 1000 cortes por minuto, empleando elementos de conmutación rápida.

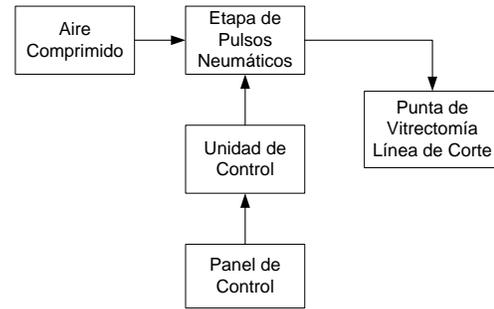


Fig. 10 Diagrama de Bloques del Sistema de Corte.

El prototipo tiene una entrada de aire comprimido para el control de la electroválvula. Para generar los pulsos neumáticos que accionarán la guillotina de la herramienta de mano se utiliza una electroválvula de respuesta rápida y se toma en cuenta los siguientes parámetros: el tipo de accionamiento, número de vías, dimensiones, peso, voltaje de trabajo de la bobina y presión de trabajo.

El control de la electroválvula se realiza con un circuito formado por un optoacoplador, un mosfet y un microcontrolador que envía la señal de control a la electroválvula. El circuito se presenta en la Fig. 11.

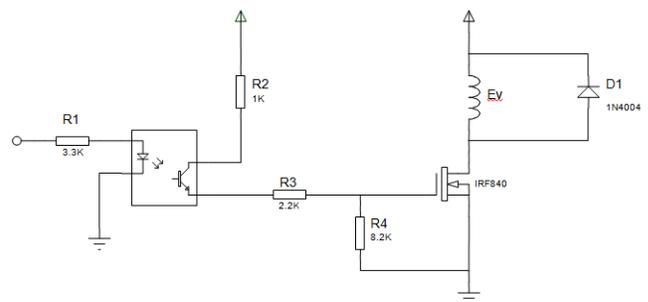


Fig. 11 Circuito de la Electroválvula del Sistema de Corte.

El panel de control de este sistema está constituido por una pantalla gráfica de cristal líquido, teclado y un diodo led.

El teclado tiene 16 pulsadores con las siguientes funciones: ingresar valor, encendido, paro, limpiar valor, cambiar valor, incrementar y decrementar.

El programa para manejar al microcontrolador de este sistema genera la señal de apertura y cierre de la válvula para obtener el número de cortes por minuto, además maneja la visualización en la pantalla gráfica de cristal líquido y el control del teclado del panel de control. El algoritmo del programa se puede apreciar en el diagrama de flujo de la Fig.12.

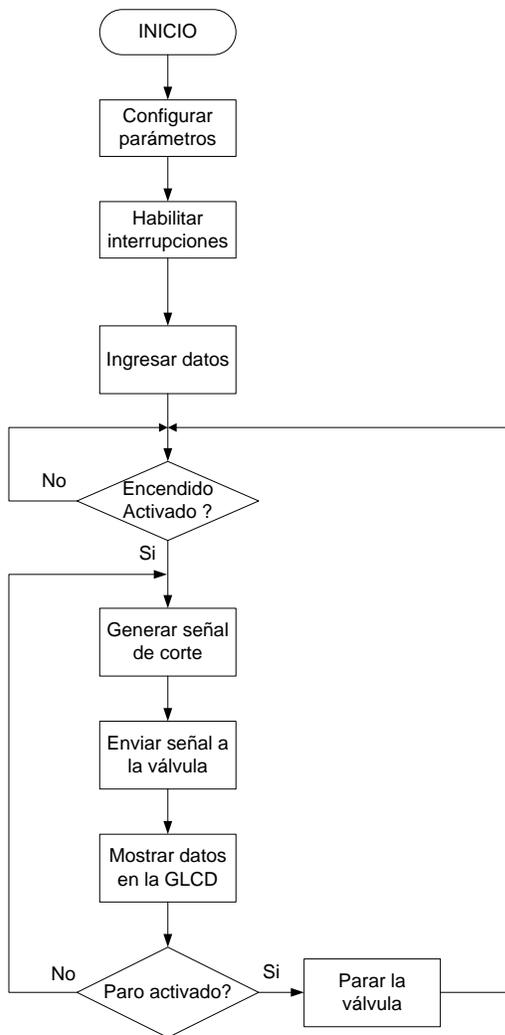


Fig. 12 Diagrama de flujo del sistema de corte.

Se realiza un lazo for que va desde uno hasta el número ingresado de cortes. La señal de corte que activa y desactiva a la electroválvula se calcula tomando en cuenta el número de cortes ingresado por medio del teclado. El tiempo de activación de la electroválvula corresponde al tiempo necesario para que la guillotina de la punta de vitrectomía baje completamente y pueda realizarse el corte del humor vítreo.

### B. Sistema de Aspiración

El sistema está formado por los siguientes elementos: bomba de vacío, regulador de presión, transductor de presión,

vaso de residuos, unidad de control y panel de control. En la siguiente figura se muestra los elementos de este sistema.

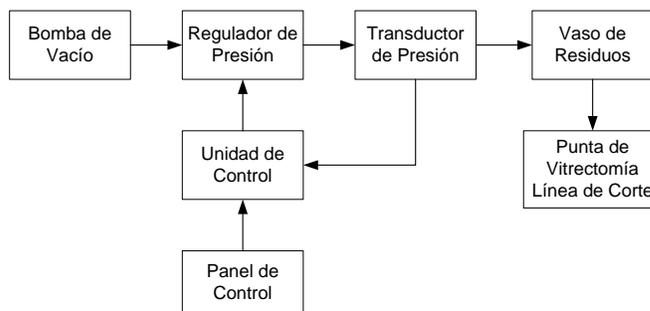


Fig.13 Elementos del sistema de aspiración.

La bomba genera vacío para aspirar el humor vítreo que ha sido cortado en pequeños pedazos a través de la punta de vitrectomía. Se emplea un sensor de vacío para verificar la presión de aspiración del sistema, la señal del sensor es acondicionada con un amplificador de instrumentación. El humor vítreo aspirado se recolecta en un vaso de residuos.

Para modificar la presión de aspiración se usó una válvula que permita regular el vacío en la línea de aspiración. Las válvulas que fueron probadas para regular la presión son: una válvula construida de tipo cónico y una válvula con aguja de regulación de carburador; se escogió la segunda válvula ya que permite controlar la presión de manera más precisa, sin fugas y permite obtener un vacío de 98mmHg hasta 318 mmHg.

Esta válvula posee un vástago cónico que funciona como obturador sobre un orificio de pequeño diámetro. El orificio de la válvula permite ingresar aire y de esta forma aumenta o disminuye la presión de vacío dependiendo de la posición del obturador con respecto al orificio. Al mover la aguja de la válvula hacia el interior y exterior del cuerpo de la válvula se puede controlar la presión; cuando la aguja cierra totalmente el orificio de aire se obtiene el vacío máximo y cuando la aguja se mueve hacia el exterior del cuerpo de la válvula se tiene el vacío mínimo.

Para el control de la válvula se emplea un motor DC, dos guías de barras cilíndricas obtenidas del reciclaje de lectores de CD-ROM de computadora, evitan el torque y giro del sistema motor. La transmisión del movimiento del motor a la válvula es a través de un acople de transmisión elástico, en este caso manguera de silicona. Esta manguera es conectada el eje del motor con el vástago de la válvula, al mover el motor también girará el vástago dependiendo del sentido de movimiento del motor.

El cilindro cónico y la aguja logran cerrarse al girar el motor en sentido horario, y permite el ingreso de aire disminuyendo el vacío al aflojar la aguja cuando gira el motor

en sentido antihorario; lo cual se logra con la ayuda del motor y el acople de silicona.

Sobre el chasis se hallan tres soportes de dura aluminio, alineados en su eje longitudinal; el primero sirve para soportar la válvula de carburador, el segundo y tercer soporte mantienen las barras guías alineadas y en su lugar para el movimiento longitudinal.

El sistema se controla usando dos sensores ópticos ajustados al cierre total del sistema cónico y a la apertura total de este sistema.

El control del motor se realiza con un driver y se emplea un microcontrolador para detectar la activación de los sensores inicial y final, encender dos leds y enviar dos señales al microcontrolador principal. El control de la electroválvula se realiza con un circuito formado por un optoacoplador y un mosfet como se indica en la Fig.11.

El panel de control del sistema de aspiración está formado por: una pantalla, teclado y un diodo led. El teclado está formado por 4 pulsadores con las siguientes funciones: encendido, paro, incrementar y decrementar.

Para determinar el movimiento del motor en base a la presión de aspiración, se tomó datos de la presión de aspiración y el tiempo de movimiento del motor.

Se calculó la ecuación del sistema de aspiración para poder controlar la presión de vacío, empleando el método de los mínimos cuadrados con una aproximación de un polinomio de segundo grado usando (1), (2) y (3).

$$(\sum_{k=1}^n X_k^2) \cdot a + (\sum_{k=1}^n X_k) \cdot b + n \cdot c = \sum_{k=1}^n Y_k \quad (1)$$

$$(\sum_{k=1}^n X_k^3) \cdot a + (\sum_{k=1}^n X_k^2) \cdot b + (\sum_{k=1}^n X_k) \cdot c = \sum_{k=1}^n X_k \cdot Y_k \quad (2)$$

$$(\sum_{k=1}^n X_k^4) \cdot a + (\sum_{k=1}^n X_k^3) \cdot b + (\sum_{k=1}^n X_k^2) \cdot c = \sum_{k=1}^n X_k^2 \cdot Y_k \quad (3)$$

La ecuación del sistema de aspiración se ingresó en el programa para calcular el tiempo de movimiento del motor.

Las tareas para el movimiento del motor en lenguaje estructurado se detallan a continuación:

**Movimiento del motor**

- Colocar ecuación en el programa
- Comprobar que tecla incrementar se detectó
  - Si la tecla se presionó
    - Calcular el tiempo
    - Girar el motor sentido horario
    - Espera del tiempo calculado
    - Parar el motor
  - Si la tecla no se presionó

- Continuar con el programa
- Comprobar que tecla decrementar se detectó
  - Si la tecla se presionó
    - Calcular el tiempo
    - Girar el motor sentido antihorario
    - Espera del tiempo calculado
    - Parar el motor
  - Si la tecla no se presionó
- Continuar con el programa

Fin

El algoritmo del programa principal se puede apreciar en el diagrama de flujo de la Fig.14.

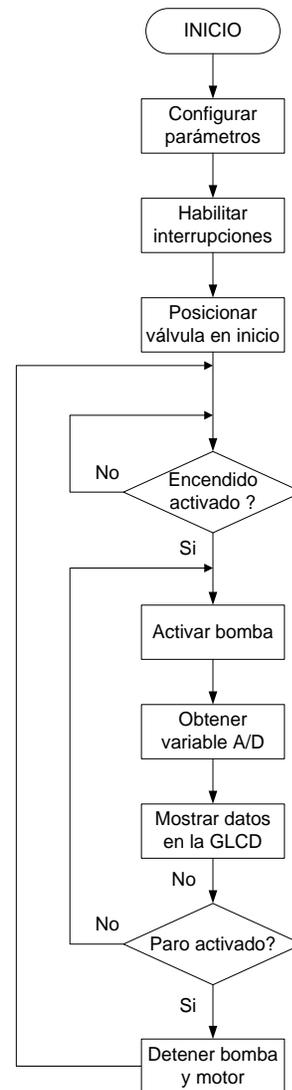


Fig.14 Diagrama de flujo del sistema de aspiración.

La gráfica de la presión de aspiración en función del tiempo del sistema de aspiración y usando la ecuación se indica en la Fig.15.

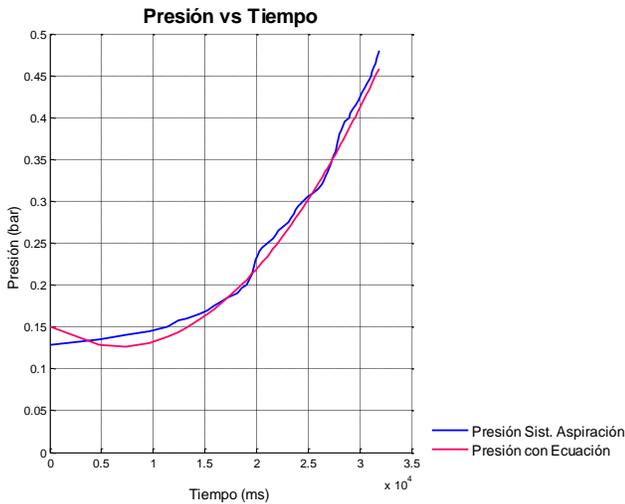


Fig.15 Gráfica de presión en función del tiempo.

### C. Sistema de Irrigación

El humor vítreo no se regenera, por esta razón se debe ingresar solución salina balanceada en el interior del ojo para reemplazar al vítreo extraído durante la cirugía.

El sistema de irrigación está constituido por una botella que contiene solución salina balanceada, ubicada a cierta altura sobre el ojo del paciente. La cánula de infusión se conecta con la botella por medio de una manguera de silicona. Al iniciar el proceso de irrigación, el fluido puede circular hacia la cánula de infusión.

El sistema de irrigación está compuesto por los siguientes elementos: sistema de apertura y cierre de la válvula, unidad de control, panel de control y sensor de nivel de vaso lleno. En el diagrama de bloques de la Fig.16 se indican los componentes del sistema de irrigación.

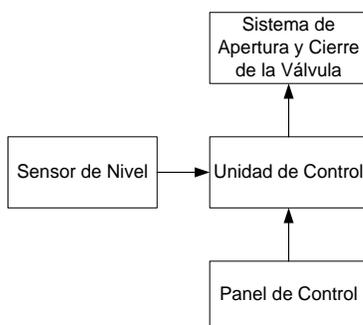


Fig.16 Diagrama de bloques del sistema de irrigación.

El sistema está constituido por una electroválvula que estrangula la manguera de la línea de irrigación y de esta forma se puede controlar el ingreso de solución salina balanceada en el ojo.

La unidad de control está formada por un microcontrolador que controla la apertura y cierre de la válvula, detecta cuando se supera el nivel del vaso de residuos y emite una señal sonora de vaso lleno.

El panel de control está compuesto por pulsadores para activar y desactivar la irrigación de solución salina balanceada, una pantalla gráfica de cristal líquido para visualizar el estado del sistema de irrigación y diodos led para indicar el modo del sistema.

En el vaso de residuos se almacena el humor vítreo extraído del ojo, para evitar que el fluido sea aspirado por la bomba de vacío se coloca un sensor en el vaso con la finalidad de detectar cuando el fluido alcance el nivel máximo.

El algoritmo del programa se puede apreciar en el diagrama de flujo de la Fig.17.

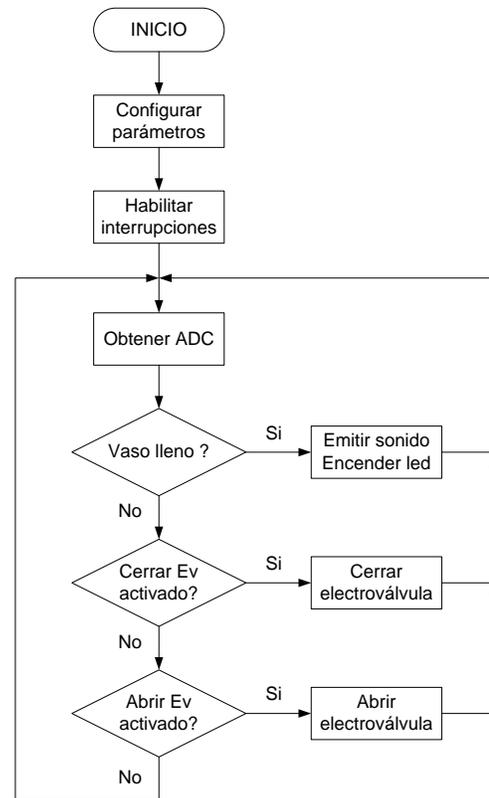


Fig.17 Diagrama de flujo del sistema de irrigación.

## IV. PRUEBAS

La prueba de aspiración se efectuó empleando un vacuómetro ubicado en la línea neumática en el mismo punto del sensor de vacío. La presión se incrementó por medio de la tecla incrementar del panel de operador del sistema de aspiración, en pasos de 20 mmHg, desde 98 hasta 318 mmHg.

La presión de aspiración medida con el vacuómetro y sensada por el prototipo se indica en la Fig. 18.

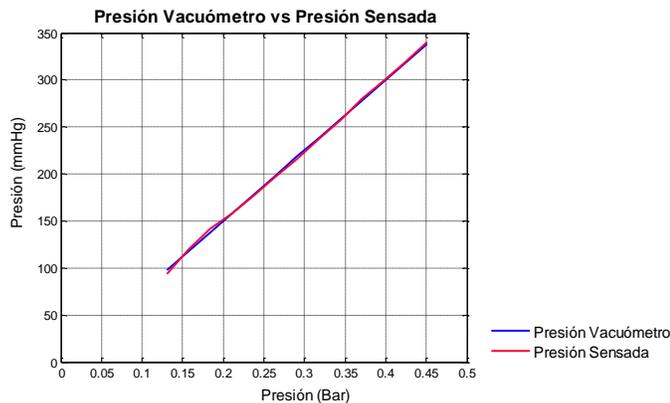


Fig.18 Presión de aspiración medida con vacuómetro y sensada con el prototipo.

La primera prueba del sistema de corte consistió en visualizar que la guillotina de la punta de vitrectomía baje completamente, empleando una lente magnificadora que permita ver adecuadamente el cierre de la guillotina. Con esta prueba se verifica que la guillotina baja completamente a partir de 35 ms, verificándose que el corte en la punta de la herramienta será adecuado para fragmentar el humor vítreo del ojo.

En la segunda prueba se empleó un osciloscopio para determinar el período de la señal de acuerdo al número de cortes escogidos. En esta prueba se incrementó el número de cortes en pasos de 100 desde 0 hasta 1000. El período del número de cortes medido y real se indica en la Fig.19, presenta una relación inversa ya que al aumentar el número de cortes el período disminuye.

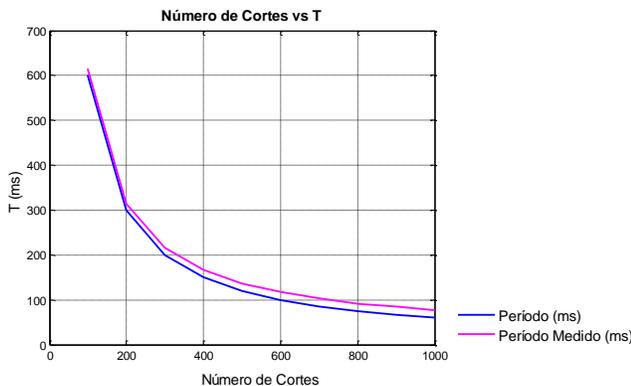


Fig.19 Número de cortes en función del período.

Se probó el funcionamiento de cada uno de los sistemas y de todo el conjunto, sin embargo, el vitreófago construido debe cumplir con los parámetros empleados en una cirugía de vítreo, siendo capaz de remover el vítreo del ojo sin causar

daño a estructuras internas; por esta razón, se probó el prototipo en ojos de cerdo.

El ojo de cerdo comparte muchas similitudes con el ojo humano como son: tamaño del globo ocular y estructuras; además, la retina porcina es más similar que la de otros mamíferos como la vaca. Los ojos de cerdo fueron obtenidos postmortem, provenientes del Centro Metropolitano de Faenamamiento de Quito.

La cirugía de vitrectomía requiere de destreza, habilidad y conocimiento de técnicas quirúrgicas. La cirugía de vitrectomía fue practicada en ojos de cerdo, en el quirófano de la Clínica Oftálmica de Quito, por el Dr. Esteban Velasteguí, Médico Oftalmólogo, quien emitió un certificado después de realizar pruebas experimentales con el vitreófago, indicando que el prototipo funciona dentro de los parámetros requeridos para la cirugía.

Además, bajo la instrucción del Dr. Velasteguí, la Dra. F. Acosta tuvo la oportunidad de utilizar el vitreófago prototipo en otros ojos de cerdo para poder entrenarse en las técnicas de la cirugía de vitrectomía con el propósito de obtener mayor habilidad y destreza.

Durante el procedimiento se desprendió la retina a propósito, demostrándose la eficiencia de los parámetros de corte y aspiración del prototipo.

En la siguiente tabla se indica los parámetros de las cirugías realizadas en ojos de cerdo.

TABLA I  
CIRUGIAS PRACTICADAS EN OJOS DE CERDO.

Nº	Doctor Practicante	Número de cortes por Minuto	Velocidad Aspiración (mmHg)	Activación Irrigación
1	Dra. F. Acosta	300	118	On y Off
2	Dr. E. Velastegui	500	198	On y Off
3	Dr. E. Velastegui	600	238	On y Off
4	Dra. F. Acosta	800	278	On y Off
5	Dra. F. Acosta	1000	298	On y Off

Se comprobó que el equipo tiene buen poder de corte a pesar de usar una punta de vitrectomía usada. La presión de aspiración es adecuada para succionar el vítreo fragmentado preservando la integridad de la retina. El sistema de irrigación permite el ingreso de solución salina y, cuando se requiere limitar el flujo, el sistema interrumpe el paso del fluido adecuadamente.

El sistema neumático permite controlar el número de cortes por minuto con una punta de vitrectomía estándar, la velocidad de cortes planteada es de 1000 cortes por minuto, el sistema diseñado puede llegar a un máximo de 1500 cortes por minuto, por lo que se consiguió el objetivo propuesto.

El panel de control es de fácil manejo para el usuario, en él se puede controlar la velocidad de corte de la punta de vitrectomía, presión de aspiración y la irrigación de solución salina balanceada. Así como también se puede observar en las pantallas el valor actual de las variables de cada proceso y modo del sistema de irrigación.

El control de cada sistema del prototipo es independiente, esto permite tener mayor versatilidad al practicarse la cirugía ya que cada sistema puede ser manejado individualmente, tomando en cuenta que cada cirugía es distinta y por tanto requiere de diferentes parámetros dependiendo de la patología del paciente.

La utilización de componentes no tan nuevos como es el caso de la bomba de vacío, la adecuación de partes y elementos ha permitido disminuir costos obteniéndose un prototipo de bajo costo y conseguir resultados satisfactorios.



Fig. 20 Prueba realizada en el quirófano.

Los sistemas principales de un equipo de vitrectomía son: sistema de corte, aspiración e irrigación. Con el fin de fabricar un equipo con más funciones puede ser ventajoso añadir un sistema de iluminación de luz de fibra óptica para iluminar la cavidad ocular y un sistema para el ingreso de silicona y gases intraoculares dentro del ojo, a través de una bomba de

inyección para las patologías que requieran de estos agentes para poder sellar posibles agujeros retinianos después de la cirugía.

Cuando ocurre sangrado en el ojo al practicarse la cirugía, se suele elevar la altura de la botella con solución salina para evitar complicaciones postoperatorias y hemorragias. Podría ser útil incorporar un sistema de diatermia (calentamiento local a través de corriente eléctrica) para ayudar a controlar el sangrado hasta el final de la cirugía.

#### RECONOCIMIENTO

Tatiana Benalcázar agradece al Doctor Esteban Velasteguí, por su disposición, paciencia, ayuda y colaboración para realizar la prueba de funcionamiento del prototipo en una cirugía de vitrectomía con ojos de cerdo practicada en el quirófano; así como, a la Doctora Fernanda Acosta por su disponibilidad para usar el prototipo durante las pruebas; y también, desea agradecer al personal de la Clínica Oftálmica por su disposición, ayuda y colaboración durante la cirugía de vitrectomía con el prototipo.

Agradece también, al Doctor Gustavo Alvira, por permitir asistir a la cirugía de vitrectomía practicada en pacientes en el quirófano del Centro Médico Metropolitano.

#### REFERENCIAS

- [1] J. Martinez y J. Hoyos, *Step by Step Vitrectomy*, Second edition, Jaypee Brothers Medical Publishers Ltd, New Delhi, 2013.
- [2] <http://laserocularmochis.com/>
- [3] <http://www.visionlaserinternacional.com/enfermedades/desprendimiento-de-retina/>
- [4] <http://www.laretinasurgeon.com/retinaldetachment.aspx>
- [5] <http://www.geteyesmart.org/eyesmart/diseases-es/moscas-volantes/>
- [6] <http://www.todoopticas.com/blog/oftalmologia/test-para-degeneracion-macular/>
- [7] <http://www.qvision.es/blogs/angel-naele/2012/10/26/papel-de-la-adhesion-vitreo-macular-en-la-patogenia-de-la-dmae/>
- [8] <http://www.jlgh.org/Past-Issues/Volume-4---Issue-1/Surgery-for-Diseases-of-the-Vitreous-and-Retina.aspx>