RIC

ARTÍCULO ORIGINAL

Diseño de una sanguijuela electrónica

Pedro Alejandro Lomelí-Mejía,* René Domínguez-Rubio,****
Alejandro Espinosa-Gutiérrez,** Hugo Lecona-Butrón,*** Reynaldo Manuel Rodríguez-Reyna****

* Laboratorio de Biomecánica, ** Servicio de Cirugía de Mano y Microcirugía,
*** Servicio de Cirugía Experimental, Instituto Nacional de Rehabilitación.
**** Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas, Instituto Politécnico Nacional.

Design of an electronic leech

ABSTRACT

This research presents the development of a continual suction electromechanical device (CSED) which emulates the feeding characteristics of a medicinal leech to drain body fluids. After the research, design and building of the device, its performance in normal conditions with fluids of different viscosity was evaluated. Finally, the device was submitted to a test of blood draining in three adult male rabbits NZW with a weight of three kilograms, obtaining drain.

Key words. *Electromechanical leech. Venous congestion. Hirudo medicinalis.*

RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo de un equipo electromecánico de succión continua (EESC), que emula características de alimentación de la sanguijuela medicinal, para drenar fluidos corporales. Posterior a la investigación, diseño y construcción del equipo, se evaluó su desempeño en condiciones normales con líquidos de diferente viscosidad; finalmente el equipo fue sometido a una prueba piloto para el desalojo de sangre en tres conejos machos adultos NZW de 3 kg, obteniendo desalojo.

Palabras clave. Sanguijuela electromecánica. Congestión venosa. *Hirudo medicinalis.*

INTRODUCCIÓN

La pregunta que dio pie a esta investigación fue: ¿Es posible emular el funcionamiento de una sanguijuela con un equipo electromecánico para reducir la estasis venosa?

La sanguijuela es un anélido de clase hirudínea. Pueden ser de varias formas y colores: negro, pardo, rojo o verde oliva. Por lo común son aplanadas dorsoventralmente. Generalmente son ectoparásitos sobre peces, tortugas de mar, crustáceos e incluso delfines. Para su alimentación las sanguijuelas hematófagas se adhieren a su presa valiéndose de una ventosa situada en el extremo posterior de su cuerpo y mueven su extremo anterior hasta que encuentran un lugar del tegumento lo suficientemente vulnerable; entonces se fija sólidamente en ese lugar mediante la ventosa anterior que rodea la boca y entran en acción las tres mandíbulas, con cerca de 100 dientes cada una. Para que este bisturí natural actúe con la máxima eficacia la saliva contiene un anestésico local, además de otras sustancias que dilatan los vasos sanguíneos y que impiden la coagulación de la sangre.[1,2] Estas características, aunadas a la capacidad de incrementar su peso corporal unas 10 veces, le permiten extraer volúmenes desde unas décimas de mililitro (0.98 mL) a varias unidades (5.03 mL).[3-5]

Las primeras referencias documentadas de la sanguijuela en aplicaciones médicas datan del siglo III a. de C., como se indica en El libro *el Sushruta-Samhita,* que es posiblemente el libro más antiguo de medicina de la India, lo que da una idea de la importancia que ha tenido este invertebrado en la vida de muchas culturas antiguas. En México, la sangría fue introducida por los españoles durante la conquista. Ya en el siglo pasado los médicos Agustín Farfán y López de Hinojosos la recomendaban casi

para todos los padecimientos; el doctor Ignacio de Bartolache la utilizaba en pacientes con histeria; el método para sangrar a los enfermos era por medio de sanguijuelas para una extracción local, aunque se lograban pocos resultados.[6] A principios de 1880 Haycraft señaló las propiedades antitrombóticas de la saliva de las sanguijuelas y en 1904 Jacoby descubrió el factor anticoagulante en el mismo medio y la llamó hirudina.[7] Posterior a esta época hubo pocos cambios, hasta ya entrado el siglo pasado, cuando se estudiaron con rigor científico las sanguijuelas. De esta forma se clasificaron y se sabe que hay aproximadamente 650 tipos diferentes y de ellas solamente 2% son de uso médico. En particular la más conocida es la *Hirudo medicinalis*.[8]

En la actualidad se ha retomado el interés por el uso de las sanguijuelas medicinales (hirudoterapia) debido a las características que tienen, las principales son su forma de fijación, succión de sangre y la manera de dosificar anticoagulantes. Las aplicaciones pueden ser diversas: en el tratamiento de várices, tratamiento de colgajos de piel en cirugía plástica, para reducir la congestión venosa después de reimplantes de dedos, por citar algunos ejemplos.[9-14]

En el tratamiento clínico posterior a una cirugía se requiere drenar la sangre en estado estacionario, con la finalidad de evitar condiciones de hipoxia y acidosis, lo que puede llevar a una necrosis del tejido.

Un método para solventar la estasis venosa es la hirudoterapia, la cual ha demostrado ser útil para aliviar dicho estado en tejidos comprometidos. Sin embargo, el tratamiento con sanguijuela medicinal posee varias complicaciones: la dificultad para adquirir sanguijuelas certificadas en México (sólo se tienen criaderos certificados en Inglaterra, Estados Unidos y Francia), trámites de importación ante dependencias de gobierno, los cuidados necesarios para mantenerlas en óptimas condiciones y el costo que todo esto implica; además, la terapia con sanguijuelas conlleva un riesgo de infección debido a bacterias alojadas en su saliva (como la *Aeromonas septicemia, Serratia marcescens, Aeromonas sobria* y *Vibrio fluviales*[15-19]). Debido a esto se diseñó y construyó un equipo capaz de succionar sangre y fluidos corporales estacionarios de manera controlada, mediante características análogas al proceso de alimentación de la especie *Hirudo medicinalis*.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se llevó a cabo una investigación bibliográfica a través de la cual se identificaron las variables de interés y sus rangos funcionales en el proceso de alimentación de la sanguijuela medicinal (dimensiones, dosificación de anticoagulantes y anestésicos, adhesión y método de succión). El diseño y construcción del prototipo cumplió con las características establecidas en la investigación. El equipo fue probado en condiciones normales; por último se realizó un estudio piloto con la finalidad de experimentar el funcionamiento del equipo *in vivo*.

Desarrollo

Los rangos de succión de una sanguijuela pueden variar desde unas décimas de mililitro hasta aproxi-

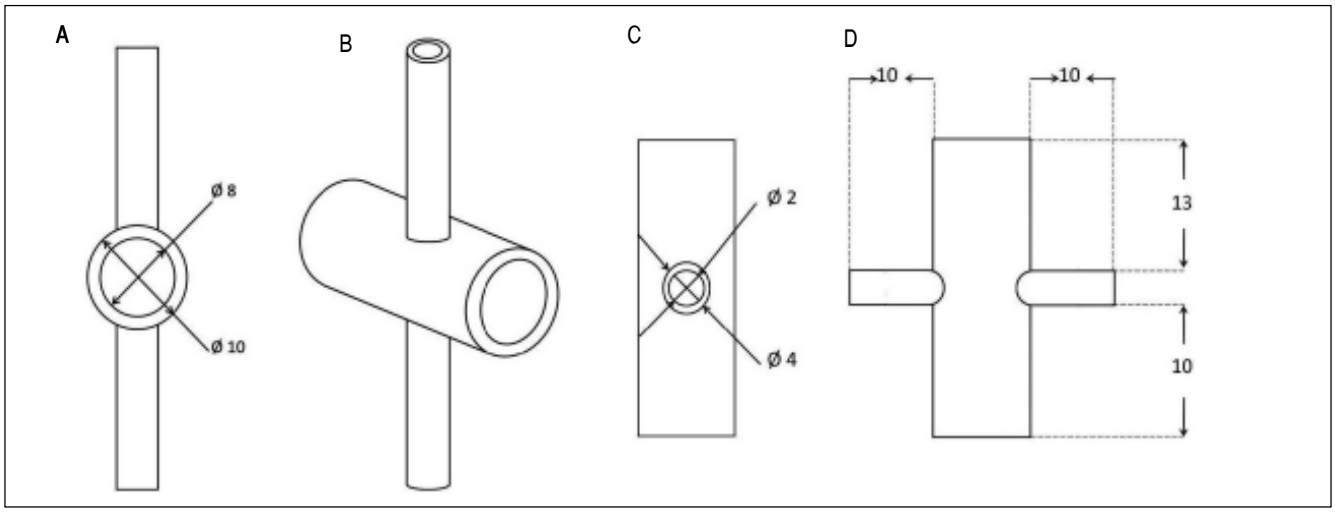

*Figura 1. Vistas de la campana del equipo succionador. **A.** Vista superior de la campana. B. Vista isométrica de la campana. C. Vista lateral de la campana. D. Vista frontal de la campana. Las medidas están en milímetros.*

madamente cinco mililitros, en un intervalo que puede ir desde 20 min hasta un par de horas. La boca de la sanguijuela posee tres mandíbulas que producen una incisión en forma "Y" de poco más de tres milímetros de radio. Se diseñó una campana de cristal pyrex para formar la ventosa que se sujeta a la zona congestionada, con base en las medidas anatómicas de la mordida de la sanguijuela (Figura 1). La campana cuenta con dos secciones cilíndricas de diámetros diferentes que forman una cruz. La sección de mayor diámetro se sujeta a la piel y los conductos de diámetro menor sirven, uno para suministrar solución heparinizada y el otro para succionar la mezcla de sangre con solución heparinizada. Los ductos para la dosificación y la succión son tubos de venoclisis de tipo comercial.

El principio de funcionamiento del equipo es el control de dos bombas peristálticas acopladas a la ventosa. Las bombas peristálticas operan de manera análoga a los movimientos realizados por las sanguijuelas para desplazar líquidos hacia su interior: se comprime un conducto flexible, de manera progresiva, desplazando el contenido a medida que la compresión va avanzando por el conducto. Para emular el movimiento muscular, el mecanismo utilizado se encuentra dispuesto en una plancha de aluminio y

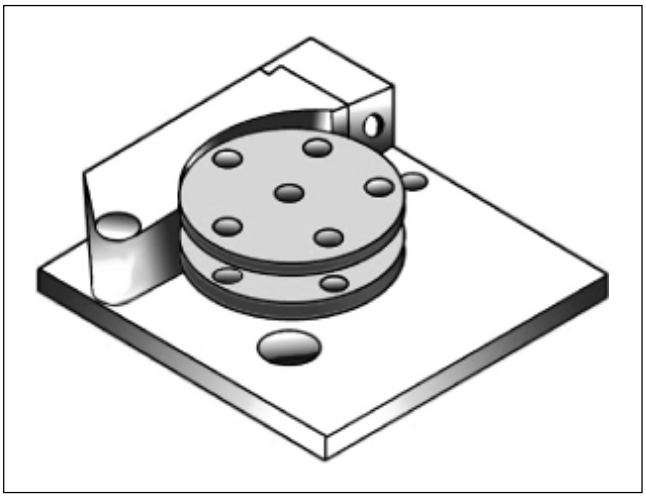

Figura 2. Dibujo del cabezal de las bombas del equipo. Sobre una plancha se acoplan el cabezal (compuesto de un tambor giratorio), un brazo oclusor y un seguro; todos los elementos están fabricados en aluminio.

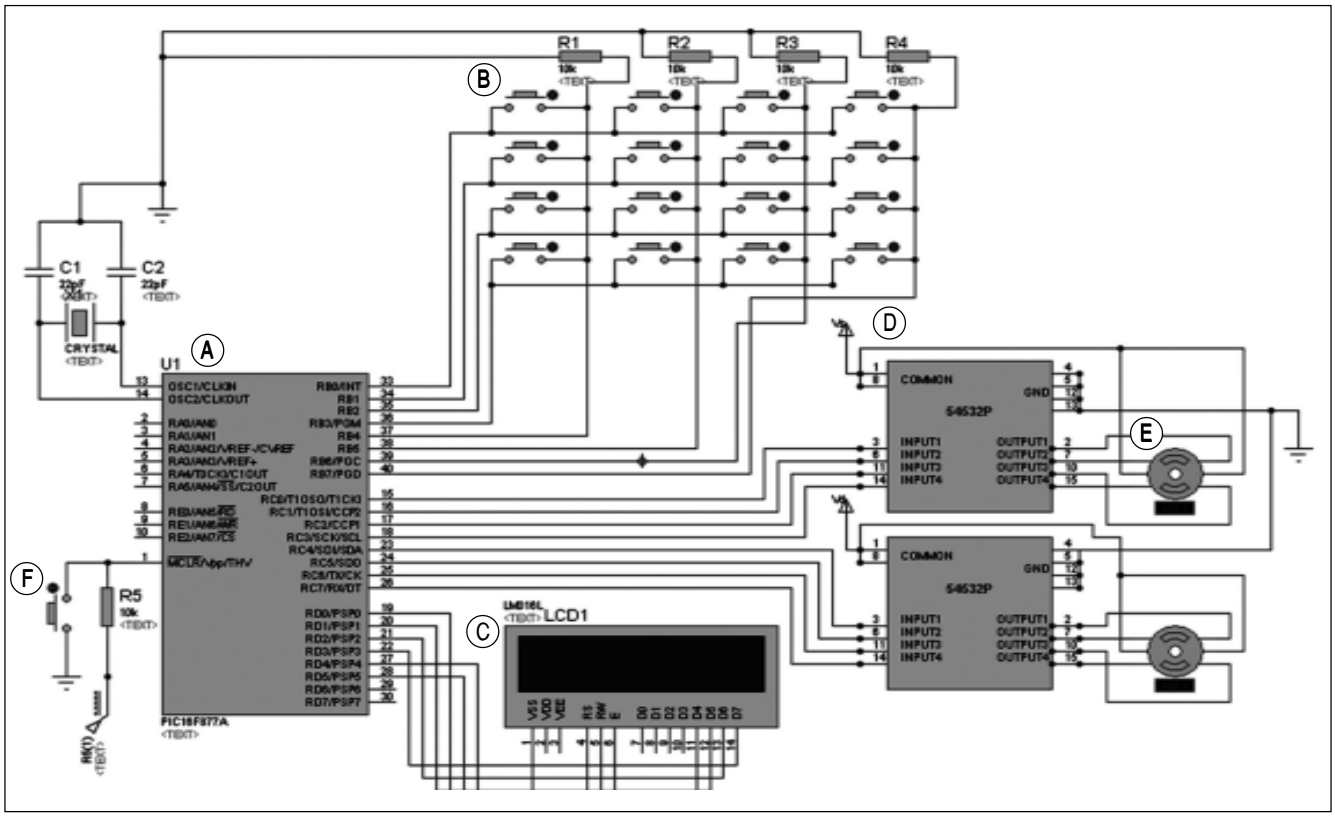

*Figura 3. Circuito esquemático del EESC. A. Elemento de control constituido por un microcontrolador PIC16F876A. B. Teclado matricial para la programación del funcionamiento del equipo. **C**. Pantalla tipo LCD de 16 x 2 caracteres para comunicación con el usuario. **D**. Etapa de potencia de los motores a pasos. **E.** Motores a pasos con 1.8° de giro por paso. **F**. Interruptor general para el paro de emergencia.*

Cuadro 1. Relación entre escala de funcionamiento del equipo y la diferencia de presión aplicada en la campana.

Escala de funcionamiento del equipo	Δp (mmHg)
1	90
2	81
3	72
4	63
5	54
6	45
7	36
8	27
9	18

está compuesto de cinco rodillos que giran en un compartimiento circular comprimiendo continuamente un tubo de venoclisis contra un brazo oclusor (Figura 2); los rodillos son solidarios a través de un mecanismo con el eje de un motor a pasos, de forma que al girar el mismo, los rodillos presionan el tubo sucesivamente y hacen avanzar su contenido. En este sistema el fluido nunca entra en contacto con el mecanismo, sólo con el interior del conducto.

El tipo de control del equipo es de lazo abierto; capturando los parámetros de funcionamiento a través de un teclado matricial se despliega la información en una pantalla de cristal líquido (LCD) (Figura 3). El sistema puede operar seleccionando una de nueve escalas de funcionamiento que corresponden a diferentes niveles de presión en la campana (Cuadro 1) por un tiempo de hasta 999 min.

Ensayo piloto

Bajo la norma oficial NOM-062-ZOO-1999 se desarrolló un ensayo piloto para experimentar el funcionamiento del equipo *in vivo,* el cual consistió en tres pruebas con tres conejos machos adultos NZW, de tres kilogramos cada uno, los cuales se mantuvieron en observación por 15 días antes de las pruebas.

Se rasuró la parte distal de la oreja derecha para fijar un catéter por el cual se suministró ketamina (10 mg/kg) y xilacina (3 mg/kg) en solución salina para anestesia y analgesia. El miembro pélvico derecho fue afeitado en la cara medial desde la zona inguinal hasta la rodilla. En el tercio proximal de la extremidad posterior se infiltró de manera subcutánea, con una aguja para insulina, una solución preparada con heparina 5,000 UI/mL (0.05 mL), lidocaína a 10% (0.2 mL) y solución salina (0.35 mL); para un total de 0.6 mL y se dejó reposar por un lapso de 30 min. Con una hoja de bisturí de número 11 se realizó una incisión de cinco milímetros en forma de cruz en la zona previamente infiltrada.

Se purgaron las bombas, se programó la escala y tiempo de funcionamiento en el equipo, se fijó la campana alrededor de la herida y se puso en funcionamiento. Después de concluido el proceso la campana fue retirada y se recolectó el líquido extraído, que fue medido con una jeringa de insulina. La herida se limpió y cerró con sutura de nylon 3-0 con puntos simples; una vez que el conejo recuperó completamente la conciencia fue devuelto a la jaula para su observación.

RESULTADOS

El equipo se sometió a pruebas de operación por un lapso de 20 horas continuas manteniéndose dentro de los rangos técnicos de operación. Se caracterizó el funcionamiento de las bombas con pruebas en condiciones normales para el flujo de fluidos de diferente viscosidad (leche, aceite vegetal comestible y agua) mostrando un comportamiento lineal (Figura 4).

Pruebas de succión con incisión posterior a la infiltración

- **Primera prueba.** En total 15 min de succión con una diferencia de presión de 36 mmHg (la cual corresponde a la escala siete del equipo). Se observó extracción de sangre con desplazamiento constante del fluido a lo largo del tubo de

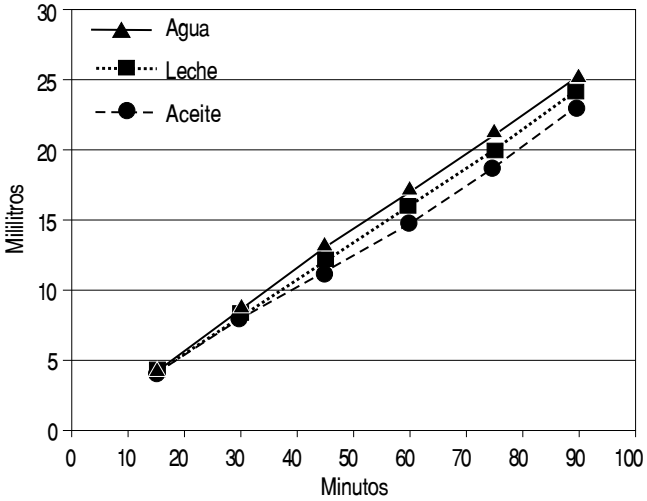

Figura 4. Gasto de la bomba con tres fluidos de diferente viscosidad. Los datos obtenidos muestran la tendencia del comportamiento en forma lineal de la bomba con los tres fluidos.

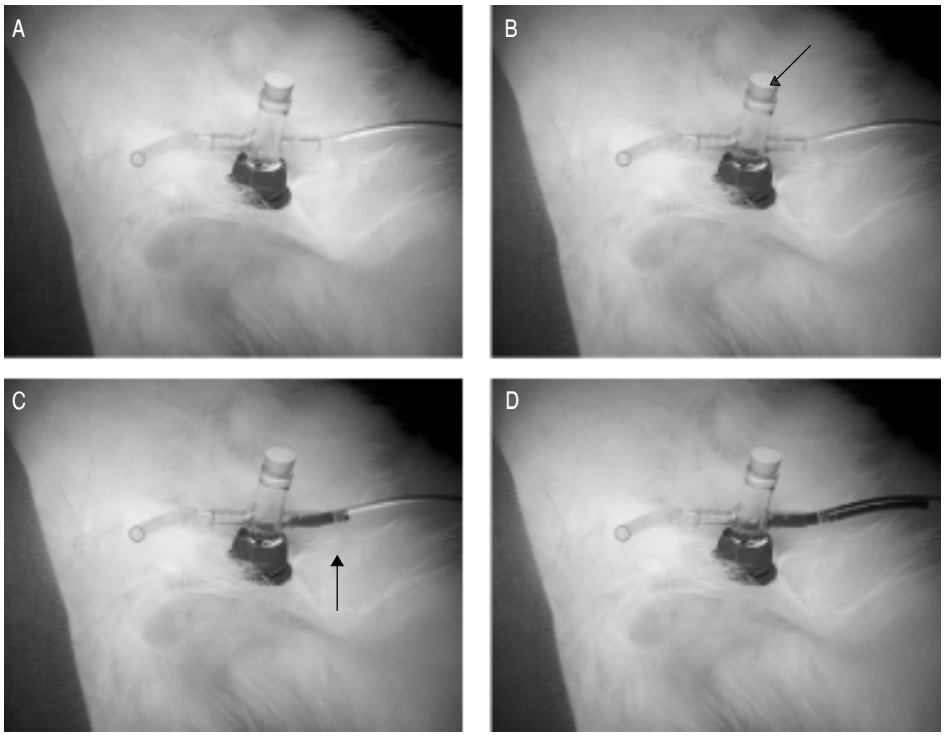

Figura 5. Secuencia que muestra el funcionamiento del prototipo. Se observa el desplazamiento del fluido corporal (color marrón) a través de la ventosa y la sección de tubo de venoclisis. A. Se observa la campana colocada al inicio del procedimiento. B. Después de 5 min de funcionamiento, el líquido comienza a llenar la campana. C. El líquido continúa desplazándose en el tubo de venoclisis. D. Tras 15 min de succión se detuvo el funcionamiento del equipo para medir el desalojo.

venoclisis, desalojando aproximadamente 2 mL de sangre medidos con jeringa de insulina.

- **Segunda prueba.** En total 30 min de succión con una diferencia de presión de 18 mmHg (la cual corresponde a la escala nueve del equipo). Se observó extracción de sangre con desplazamiento constante del fluido a lo largo del tubo de venoclisis, desalojando aproximadamente 1.5 mL de sangre medidos con jeringa de insulina.
- **Tercera prueba de succión con incisión.** En total 15 min de succión con una diferencia de presión de 36 mmHg (la cual corresponde a la escala siete del equipo). Se observó extracción de sangre con desplazamiento constante del fluido a lo largo del tubo de venoclisis, que se puede ver en la progresión de las imágenes de la figura 5, desalojando aproximadamente 2.5 mL de sangre medidos con jeringa de insulina.

DISCUSIÓN

El diseño realizado en el presente trabajo hace hincapié en emular dos características particulares del proceso de alimentación de la sanguijuela medicinal: la dimensión de la incisión y la forma de succión; esto se logra con la bomba peristáltica y el diseño de la ventosa. Con respecto a la sanguijuela medicinal el prototipo extiende sus capacidades de funcionamiento a diferentes presiones por periodos prolongados, presentando una ventaja ante la terapia con sanguijuelas, lo que permite controlar la presión ejercida en la ventosa en un tiempo establecido, provocando un desalojo de fluido controlado.

Se elimina el riesgo de infección que conlleva el uso de sanguijuelas medicinales utilizando equipo estéril para el tratamiento. Se resuelve el problema de la adquisición y el manejo, como desecho biológico, que presenta la técnica del uso de *Hirudo medicinalis*.

Una correcta adhesión es primordial para el funcionamiento del equipo, debido a que si existen fugas entre la campana y la piel, la presión negativa proporcionada por la bomba se ve afectada. El comportamiento del equipo en las pruebas técnicas arroja una gráfica lineal con líquidos de diferente viscosidad, con lo cual se observa que este parámetro no influye de manera significativa en el funcionamiento del EESC.

Debido a la disponibilidad en cuanto a la programación de los parámetros (tiempo y escala de funcionamiento) existe versatilidad con el equipo, por lo que se puede implementar la actividad del mismo en casos que requieran drenar líquidos estacionarios como: cirugía plástica, infecciones óseas, quemaduras, várices, traumatismo o en el tratamiento de sín-

drome compartimental, por mencionar algunos ejemplos.

Aun cuando en las pruebas experimentales *in vivo* se logró desalojar sangre, de manera continua sin colapsar los vasos, se requiere de un ensayo clínico y estadístico para evaluar el desempeño del equipo en cada condición clínica particular. El análisis de estos estudios definirá los parámetros necesarios para la inclusión de los sensores adecuados, lo que permitirá un diseño para el control de lazo cerrado, así como modificaciones en el funcionamiento del mismo.

Se plantea el diseño de más ventosas, con la finalidad de que existan más opciones tanto en la forma de adhesión como en la superficie de succión; igualmente proyectamos una modificación en el cabezal de la bomba que permita mayor número de tubos de venoclisis, para incrementar el número de regiones a las cuales se aplique una diferencia de presión.

REFERENCIAS

1. Gardiner SM. Biología de los invertebrados. Mc Graw-Hill; 1978, p. 277-80.
2. Conforti ML, Connor NP, Heissey DM, Hartig GK. Development of a mechanical device to replace medicinal leech (Hirudo medicinalis) for treatment of venous congestion. *J RR D* 2002; 39(4): 497-504.
3. Conforti ML, Connor NP, Heissey DM, Hartig GK. Evaluation of Performance Characteristics of the Medicinal Leech (Hirudo medicinalis) for the Treatment of Venous Congestion. *PlastReconstrSurg* 2002; 109(1): 228-35.
4. Lent MC, Fliegner HK, Freedman E, Dickinson MH. Ingestive behaviour and physiology of the medicinal leech. *J Exp Biol* 1988; 137: 513-27.
5. Orevi M, Amiram E, Giguzin I, Rigbi M. Jaw anatomy of the blood-sucking leeches, Hirudinea Limnatis nilotica and Hirudo medicinalis, and its relationship to their feeding habits. *J Zoology* 2000; 250: 12-27.
6. Ramos de Viesca MB, Aranda Cruzalta A, Dultzin B, Viesca TC. La sangría como recurso terapéutico en las enfermedades mentales en el México del siglo XX. *Salud Mental* 2002; 25(6): 53-8.
7. Foucher G, Henderson HR, Maneau M, Merle M, Braun PM. Distal digital replantation: One of the best indications for microsurgery. *Int J Microsurg* 1981; 3: 265-70.
8. Mory NR, Mindel lD, Bloom AD. Surgical History The leech and physician biology, etimology and medical practice with Hirudinea medicinalis. *World J Surgery* 2000; 24: 878-83.
9. Porshinsky BS, Saha S, Grossman MD, Beery II P, Stawicki Spa. Clinical uses of the medicinal leech: A practical review. *J Postgrad Med* 2011; 57: 65-71.
10. Laufer SA, Siddall EM, Graf J. Characterization of the Digestive-Tract Microbiota of Hirudo orientalis, a European Medicinal Leech. *Applied and Enviromental Microbiology* 2008; 74(19): 6151-4.
11. Kosta Mumcuoglu Y, Pidhorz C, Cohen R, Ofek A, Howard Lipton A. The use of the medicinal leech, Hirudo medicinalis, in the reconstructive plastic surgery. The Internet Journal of Plastic Surgery TM.
12. Durrant C, Townley WA, Ramkumar S, Khoo CT. Forgotten digital tourniquet: Salvage of an ischaemic finger by application of medicinal leeches. *Ann R CollSurgEngl* 2006; 88: 462-4.
13. Morán MJ, Montes de Oca N, Bargueño M, García L, Martorell V. Rescate con sanguijuelas de un injerto libre lateral del muslo. *Rev Esp Cirug Oral y Maxilofac* 2003; 25: 304-8.
14. Michalsen A, Manfred R, Dobos G. Medicinal Leech Therapy. *Thieme Verlag* 2006; 115-43.
15. Maetz B, Abbou R, Baptiste Andreoletti J, Bruant-Rodier C. Infections following the application of leeches: two case reports and review of the literature. *J Med Case Rep* 2012; 6 (1): 364.
16. Aydin A, Nazik H, Kuvat S, Gurler N, Ongen B, Tuncer S, Hocaoglu E, et al. External decontamination of wild leeches with hypochloric acid. *BMC Infectious Diseases* 2004; 4-28.
17. Cornejo-Esquerra A, Talleri-de-Andrea G, Blanco-Favela JJ, Ramos-Mora A, Villarán-Muñoz B. Historia y Antropología Médica: Sanguijuela Hirudo medicinalis: una alternativa terapéutica disponible en México. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc* 2009; 47(3): 335-40.
18. Ramírez-Pérez A, Gómez-Carmona C, López-Isaza L, Velásquez-Trujillo LE. Caracterización de la comunidad bacteriana aerobia en sanguijuelas (Hirudinea), Haementeriasp (Glossiphoniidae) y Oxytychusornatus (Macrobdellidae) de El Bagre, Antioquia. *Iatreia* 2012; 25(1): 5-11.
19. Vera KC, Blu FA, Torres HM. Sanguijuelas. Parásitos presentes ayer y hoy. *Rev Chil Infect* 2005; 22(1): 32-7.

Reimpresos:

Pedro Alejandro Lomelí-Mejía
Laboratorio de Biomecánica
Instituto Nacional de Rehabilitación
Calz. México-Xochimilco, Núm. 289
Col. Arenal de Guadalupe
14389, México, D.F.
Tel.: 5999-1000, ext. 16166, 16167
Fax: 5603-9127

Recibido el 20 de febrero 2013.
Aceptado el 20 de septiembre 2013.