

## BIOINGENIERIA APLICADA: INVESTIGACION Y DESARROLLO EN EL IMA

por *Patricio A. A. Laura\**, *Salvador La Malfa\*\**, *Daniel Pasqua\*\** y *Liberto Ercoli\*\*\**

Instituto de Mecánica Aplicada (CONICET-SENID-ACCE), Gorriti 43, 8000 Bahía Blanca.

\* Profesor Titular, Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur. Investigador Superior (CONICET).

\*\* Profesional Adjunto (CONICET).

\*\*\* Profesional Principal (CONICET). Director Grupo Análisis de Sistemas Mecánicos. Facultad Regional Bahía Blanca (UTN).

### RESUMEN

El programa de bioingeniería aplicada del Instituto de Mecánica Aplicada fue iniciado por el primero de los autores en el Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur (UNS) en el año 1973. El continuo apoyo y los aportes tanto del CONICET como de la UNS y la generosa cooperación de numerosos colegas y profesionales médicos de la zona de Bahía Blanca hicieron posibles sus realizaciones. También han participado, y lo continúan haciendo en la actualidad, alumnos universitarios y también de colegios secundarios. Las actividades del programa pueden ser agrupadas en dos tipos de estudios técnico-científicos:

A) investigaciones básicas y aplicadas en las ciencias mecánicas y

B) desarrollos tecnológicos.

En general se ha logrado una transferencia directa a los usuarios de los sistemas en cuestión.

### ABSTRACT

The philosophy and accomplishments of the applied bioengineering program in Bahía Blanca, Argentina, date from 1973 when it was established by the first author under the sponsorship of several official Argentine agencies and with the support of individuals and private institutions.

The program's activities can be defined in terms of applied mechanics research and technological developments. The overall program has some technical implications combined with academic and social characteristics which may be attractive from the point of view of other developing countries.

A rather limited number of mechanical, electromechanical and electronic systems used in medical care activities are produced in developing countries. Certainly, the equipment produced in highly industrialized countries is very expensive from the point of view of the economic possibilities of developing areas of the world.

For this reason, the development of certain basic systems needed in hospitals and rehabilitation institutions of the community was undertaken in 1973.

The site was the Department of Engineering of the Universidad Nacional del Sur (UNS) in the city of Bahía Blanca. The advice and generous cooperation of many physicians has certainly been of paramount importance. College students (and in some cases, high school students) have also participated in the program.

The article describes briefly the activities of the program. The transfer of technology to many institutions, and in some cases to individuals, is described in some detail.

### INTRODUCCION

Puede afirmarse que, en general, el número de sistemas mecánicos, electromecánicos y electrónicos destinados a la atención médica y que se produzcan en países en vías

de desarrollo, es limitado. Por otra parte en el caso de equipos para tales fines y que son producidos en países altamente industrializados suelen presentarse una o más de las siguientes situaciones:

- precio del equipo excesivamente alto

- elevado costo de mantenimiento
- dificultad en conseguir repuestos
- tecnología muy compleja y que requiere condiciones de contorno, para su utilización en forma eficiente, difíciles de encontrar en comunidades de muy limitadas posibilidades socio-económicas.

Es por esta razón que en el año 1973 el primer autor y sus colaboradores comenzaron un modesto plan de investigación y desarrollo en bioingeniería en el Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur. La meta fundamental de este programa estriba en el desarrollo y construcción de sistemas médico-hospitalarios, de ortesis especiales y elementos para lisiados y de investigaciones básicas y aplicadas utilizando métodos y técnicas de las ciencias mecánicas en problemas de bioingeniería.

Conviene enfatizar acá claros conceptos de Kenedi con respecto a la Bioingeniería (Ref. 1).

“Bioingeniería en forma global, y biomecánica como una de sus disciplinas componentes, se ocupa fundamentalmente de asistir en la práctica médica de manera tal de lograr una solución rápida y efectiva de los problemas del paciente”.

La bioingeniería es, probablemente, tan antigua como la medicina: los instrumentos quirúrgicos utilizados por cirujanos en el Egipto de los Faraones fueron diseñados o por ingenieros con vocación por la profesión médica o por médicos con sanos conocimientos intuitivos de ingeniería mecánica... y el primer hombre que cortó una rama de un árbol y la utilizó como bastón o muleta\* fue el primer especialista en biomecánica o en realidad: ¡el primer ingeniero en rehabilitación!

### **INVESTIGACIONES BASICAS Y APLICADAS UTILIZANDO METODOS Y TECNICAS DE LAS CIENCIAS MECANICAS EN PROBLEMAS DE BIOINGENIERIA**

Estas han sido reseñadas recientemente en la Referencia 2.

\* La muleta ha sido utilizada por aproximadamente 5000 años.

Se considera adecuado proveer un listado de los temas de mayor interés:

- reducción del nivel de ruido y vibración de incubadoras para recién nacidos. Se destaca el hecho de que se desarrolló un sistema de montaje para el motor impulsor altamente eficiente (Ref. 3). También fue considerado y resuelto el caso en que el nivel de ruido es incrementado considerablemente por el hecho de suministrar oxígeno al neonato (Ref. 4).

- análisis dinámico de un modelo altamente simplificado de hueso fracturado durante el proceso de consolidación de una fractura. Se determinan las frecuencias de vibración transversal de un modelo de hueso teniendo en cuenta deformación por corte e inercia rotatoria, a medida que el proceso de consolidación en una sección “fracturada” progresa. Si bien el estudio realizado es de naturaleza básica (Ref. 5) su propósito último es de naturaleza bien práctica y definida ya que consiste en desarrollar un método de evaluación cuantitativo del estado de consolidación de un hueso fracturado en un paciente. Estudios experimentales sobre este tema son realizados en algunos centros europeos de investigación médica (por los Dres. M. y P. Cornelissen en Bélgica y por A. B. Cristensen y P. Ammitzbohl en Dinamarca).

- estudio dinámico de elementos de válvulas de corazón. El análisis clásico del problema hace uso de consideraciones y metodologías de índole estático. En ciertas situaciones se han detectado fallas de estos elementos causadas por fatiga. En la Referencia 6 se han hallado tensiones dinámicas originadas por una excitación que varía en forma sinusoidal con el tiempo. Se ha realizado determinaciones de tensiones dinámicas en elementos de sección y momento de inercia no uniforme habiéndose comparado los valores obtenidos mediante un método variacional con los determinados mediante un código de elementos finitos.

### **ALGUNOS DESARROLLOS TECNOLOGICOS**

Algunos de los sistemas logrados en el programa que se describe en esta publicación serán discutidos a continuación.

Resulta conveniente agruparlos en las siguientes categorías:

- inyector portable a cuerda para niños talasémicos
- bombas electromecánicas de infusión para diversos usos médicos
- inyector a período regulable para mantener permeables los drenajes en ciertos procedimientos quirúrgicos
- bomba portátil, a pila, para pacientes cancerosos
- silla de ruedas, a batería, para niños parapléjicos
- ortesis para el alivio de la tortícolis espasmódica (disonía segmentaria cervicobraquial).

### **INYECTOR PORTABLE, A CUERDA, PARA NIÑOS TALASEMICOS**

El elemento propulsor de esta bomba es una máquina de reloj despertador de industria nacional al cual se ha efectuado pequeñas modificaciones necesarias desde el punto de vista de funcionamiento del inyector (Referencias 7 a 9).

Más de dos docenas de inyectores fueron fabricados en el IMA y entregados al Servicio de Hematología del Hospital de Niños de Buenos Aires en el año 1980. Cabe destacar el hecho de que una niña de Bahía Blanca que padece esta afección\*, usa estos inyectores desde esa época siendo probablemente el caso más tratado en la Argentina correspondiendo el mérito del tratamiento al Dr. Mario Aggio, destacado hematólogo de Bahía Blanca.

La sencillez del sistema, su bajo costo y mantenimiento que esencialmente puede ser llevado a cabo por un relojero, lo hacen sumamente ventajoso con respecto a bombas de infusión a pila, fabricadas en EE.UU. y Japón, y de un costo sumamente elevado (en general se trata de sistemas muy sofisticados, de difícil reparación).

Cabe destacar el hecho de que sistemas similares a cuerda, desarrollados y cons-

\* Tipo de anemia por la cual se produce hierro en exceso. Este se acumula en el corazón, hígado, etc. y causa la muerte del paciente a temprana edad. Con la bomba en cuestión, y por goteo de una solución que contiene "desferromixina" en zonas subcutáneas, se logra que el paciente elimine el exceso de hierro a través de la orina.

truídos en Gran Bretaña, pesan 1 kg. mientras que el último prototipo logrado en el IMA pesa 0,340 kg., Ref. 9.

### **BOMBAS ELECTROMECANICAS DE INFUSION PARA DIVERSOS USOS MEDICOS**

Los sistemas desarrollados son:

- bomba para linfografía (Ref. 10)
- bomba para infusión intrauterina (Ref. 11)
- bomba de infusión continua para diversas drogas (Ref. 12)
- inyector regulable para alimentación parenteral y diversas drogas (Ref. 13)
- inyector regulable para alimentación enteral y diversas drogas (Ref. 14)
- inyector para drogas citostáticas (Ref. 15)

### **INYECTOR DE PERIODO REGULABLE PARA POST-OPERATORIOS EN INTERVENCIONES QUIRURGICAS DIVERSAS**

En las Referencias 16 y 17 se describe un inyector de infusión (Figura 1) que en períodos de tiempo que el cirujano puede regular, envía líquido a presión. Este modo de

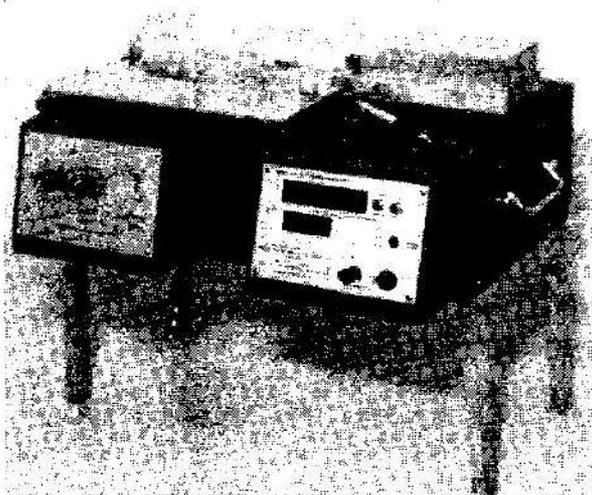


Fig. 1.— Inyector de período regulable para post-operatorios en intervenciones quirúrgicas diversas.

operación resulta de gran utilidad en aquellos pacientes sometidos a intervenciones quirúrgicas que requieran mantener y asegurar la permeabilidad de un drenaje. También puede ser utilizada en pacientes con peritonitis graves, operaciones de próstata, etc.

El sistema desarrollado ha dado resultados muy satisfactorios en diversas intervenciones quirúrgicas (Ref. 18). Se destaca el hecho de que la idea original que condujo al desarrollo del equipo en cuestión se debe al Director del Instituto de Medicina Experimental del Hospital "Dr. José Penna" de Bahía Blanca, Dr. Eduardo A. Laura.

El inyector en cuestión consta de:

- jeringa
- sistema mecánico de impulsión
- sistema electrónico de control.

La jeringa (45 cm<sup>3</sup>) fue diseñada y construída especialmente en acrílico con el objeto de contar tanto con inmunidad química como con facilidad para esterilizar por medio de gas. Básicamente consta de un cilindro con válvulas de admisión y expulsión, y de un pistón o émbolo de doble propósito.

El sistema mecánico de impulsión lo constituye un motor de limpiaparabrisas cuyo accionar rotativo es utilizado para generar el movimiento alternativo requerido. El fin de carrera está determinado por el accionamiento de un microswitch. Para realizar una impulsión manual se ha provisto un pulsador ubicado en el panel frontal.

El sistema electrónico consta de:

- circuito electrónico de regulación de tiempo
- circuito contador de eventos
- circuito termostático con indicador y regulación de temperatura.

A los efectos de lograr una mayor precisión en los períodos de inyección se optó por la aplicación de un timer digital. El utilizado opera con los 50 Hz de línea resultando una variación menor que 10 segundos en 24 horas de funcionamiento.

El rango de regulación es de 100 a 9900 segundos (2 horas 45 minutos) y se realiza en pasos de 100 segundos mediante dos llaves selectoras del tipo rotativo y están dispuestas en el panel frontal del inyector.

El equipo consta de un circuito contador de eventos de modo que el cirujano conozca

la cantidad de veces que es accionado el émbolo de la jeringa, a modo de verificación del accionar del sistema.

En lo que concierne al sistema indicador y regulador de temperatura se optó por la solución más simple y económica: el "sachet", con el líquido que efectúa la operación de asepsia, es colocado en un compartimiento que posee resistencias que efectúan el calentamiento necesario. Dentro del compartimiento se encuentra un sensor que comanda el circuito termostático. Un display de tres dígitos exhibe los valores de la temperatura.

El cirujano fija la temperatura deseada accionando una perilla y un pulsador ubicados en el panel frontal del inyector.

### **INYECTOR PARA DROGAS CITOSTATICAS A SER UTILIZADO EN TRATAMIENTOS DE CANCER**

El aparato en cuestión, Figura 2, es el resultado final del convenio celebrado el 2/5/90 entre la Facultad Regional Bahía Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional a través de su Grupo de investigación "Análisis de Sistemas Mecánicos" y la Fundación Oncológica del Sur, contándose con aportes varios y asesoramiento del Instituto de Mecánica Aplicada (IMA).

El desarrollo fue planteado por miembros de la FOS motivados por la necesidad de lograr un aparato capaz de inyectar drogas citostáticas en un rango muy grande de velocidades. Sin embargo, si bien ha sido concebido fundamentalmente en términos de aplicación en tratamientos oncológicos, es evidente que resulta de utilidad para inyectar una gran variedad de drogas (Ref. 15).

#### **Descripción del sistema**

La rotación del eje impulsor (barra roscada de bronce) es generada por un motor eléctrico a través de un reductor corona - sin fin. El émbolo de la jeringa, que se posiciona fija al bastidor de sostén mediante una bandeja de forma apropiada (portajeringa), está vinculado con el eje impulsor por medio de una pieza rígida en forma de brazo que se traslada longitudinalmente a la velocidad elegida por el profesional médico.

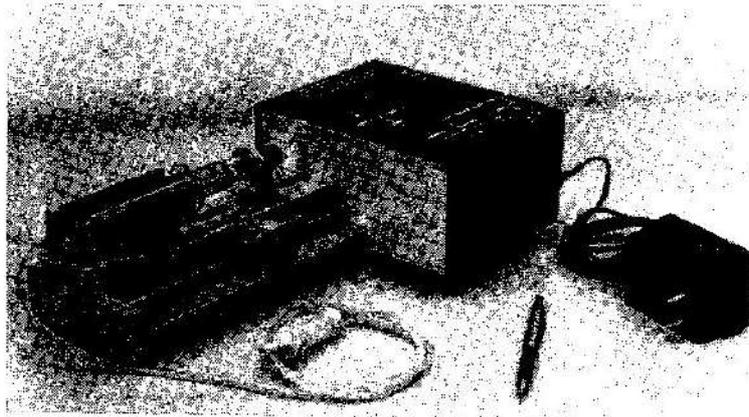


Fig. 2.— Inyector para drogas citostáticas a ser utilizado en tratamientos de cáncer.

Esta pieza consta también de una rótula que le permite asentar en la forma más apropiada sobre el extremo del émbolo de la jeringa. El sistema consta de un cursor deslizante en forma longitudinal el cual puede posicionarse frente a una escala graduada en milímetros, lo que se logra presionando un botón en la parte inferior de dicho cursor, la longitud señalada indica el máximo desplazamiento del émbolo; cuando éste arriba a dicha posición el motor se detiene poniendo en funcionamiento el sistema de alarma el cual emite un sonido agudo fácilmente distinguible indicando el fin del período de inyección.

Para colocar la jeringa en la posición inicial debe disponerse en el comando del equipo la respectiva perilla en la posición marcada "Retroseso"; una vez finalizado el mismo se detendrá el brazo avisando mediante un sonido similar al anterior.

El movimiento del eje impulsor parte de un motor de 12V (corriente continua), de los del tipo utilizado en grabadores. Para lograr las distintas velocidades se optó por el sistema de control de pulso. Este consiste en la aplicación de pulsos de tensión (en este caso 12V) de corta duración (aproximadamente 100 milisegundos) que varían en frecuencias. De este modo la marcha del motor se realiza en forma intermitente, pero luego de pasar por la cadena cinemática

reductora el movimiento del eje impulsor resulta cuasi-continuo.

El circuito electrónico construido es un multivibrador estable, al que puede variarse su frecuencia mediante la constante R (resistencia) por intermedio de llaves (horas, minutos) dispuestas en el frente del gabinete lográndose de este modo regular el tiempo de inyección entre el intervalo de 5 minutos a casi 6 horas. Luego, la señal es llevada a un amplificador de potencia para excitar al motor. Para poder asegurar una buena estabilidad en el circuito electrónico se construyó una fuente de alimentación estabilizada incorporada en el inyector y se alimenta en forma indistinta desde el exterior: 13-18 V corriente alterna o bien 13, 2-18 V corriente continua, siendo esto último de suma importancia en casos de cortes de energía.

Como elementos accesorios posee resonadores piezoeléctricos como indicadores auditivos de final de carrera ya sea en los casos de avance o retroseso, como así también elementos ópticos (LED) de encendido, dirección del movimiento del eje impulsor, marcha y alarma de final de carrera.

Cabe destacar el hecho de que con anterioridad al desarrollo del sistema descrito en esta sección, el Profesional del CONICET D. Pasqua logró un inyector portable a pila para el tratamiento de pacientes cancerosos, ver Figura 3 (Ref. 19).

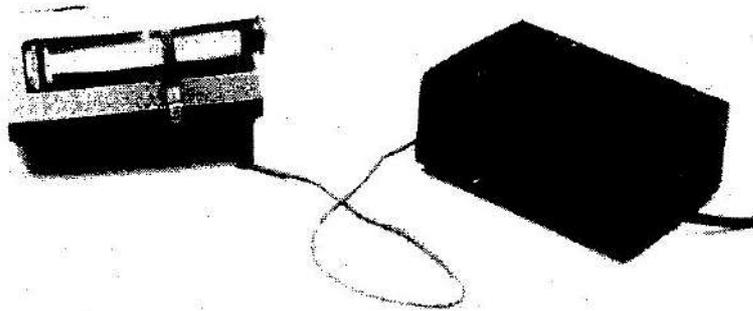


Fig. 3.— Inyector portable a pila para el tratamiento de pacientes cancerosos.

### DESARROLLO Y CONSTRUCCION DE UNA SILLA DE RUEDAS AUTOPROPULSADA

En la Referencia 20 se describe el desarrollo y construcción de un prototipo de silla de ruedas autopropulsada lograda entre el Grupo Análisis de Sistemas Mecánicos (UTN-FRBB) y el Instituto de Mecánica Aplicada (CONICET). Los resultados alcanzados son altamente satisfactorios ya que el sistema logrado puede competir ventajosamente con los de procedencia extranjera, ver Figura 4.

Los estudios iniciales y un primer prototipo fueron desarrollados en el IMA en el año 1985, Referencia 21. En aquella oportunidad se construyó un pequeño vehículo de propulsión eléctrica con comando bucal para ser utilizado por un niño de la Escuela Especial N° 509 de Bahía Blanca.

Luego de una primera evaluación, surgió la necesidad de efectuar mejoras en algunos de los diversos sistemas del vehículo. Esta nueva etapa del desarrollo fue emprendida conjuntamente entre el Grupo Análisis de Sistemas Mecánicos (GASM) de la Facultad Regional Bahía Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional y el Instituto de Mecánica Aplicada (IMA) del CONICET, a partir del año 1987.

El resultado fue el logro de un segundo prototipo de vehículo con sustanciales mejoras respecto del original.

Asimismo, es interesante puntualizar aquí que una versión similar al presente

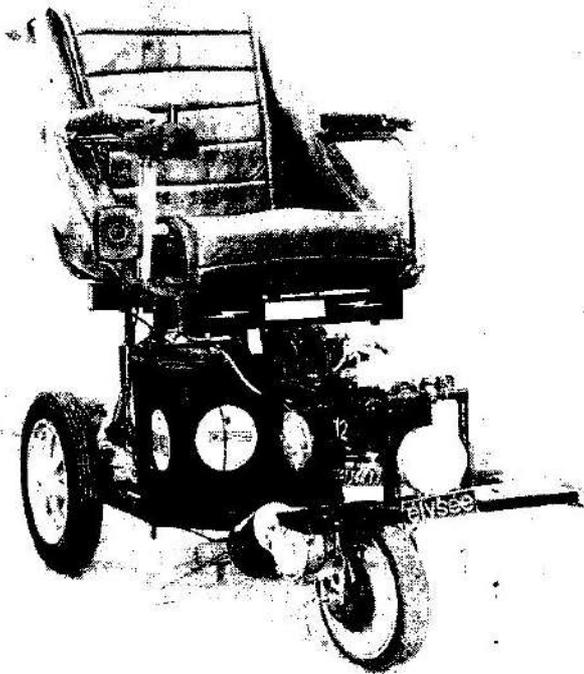


Fig. 4.— Silla de ruedas autopropulsada.

desarrollo fue construido por el padre de un niño discapacitado bajo la dirección de los autores funcionando de acuerdo con las expectativas\*.

El vehículo desarrollado consta de dos subsistemas principales:

\* Se trata del señor Adrián Heinrich.

- bastidor o chasis (componente estructural del sistema)

- subsistema mecánico (unidad tractora y directriz, UTD, del vehículo).

El bastidor o chasis se encuentra construido en tubo estructural de sección cuadrada\*.

Ha sido posible optimizar el sistema estructural confiriéndole considerable rigidez minimizando al mismo tiempo el peso total de la estructura. Por otra parte esta aloja en diversos compartimentos los subsistemas necesarios para la operacionalidad del conjunto.

Posee un esquema de distribución triangular de sus puntos de apoyo. De esta manera el peso mayor se ubica en el baricentro de dicho triángulo mejorando la estabilidad del móvil. En caso de una distribución inadecuada del peso es posible variar la posición del eje trasero respecto a la rueda delantera y de esta manera equilibrar los pesos sobre cada rueda.

El eje trasero es una barra de aluminio de sección cuadrada roscada en sus extremos permitiendo quitar o colocar fácilmente las ruedas en caso de avería. Las ruedas fueron montadas sobre rodamientos para evitar pérdidas de energía por fricción; las llantas son de material plástico muy liviano y resistente y finalmente terminadas por cubiertas con cámara, éstas contribuyen notablemente absorbiendo las irregularidades del suelo suavizando la marcha y evitando que lleguen vibraciones de nivel excesivamente alto al paciente.

La unidad tractora y directriz (UTD) del vehículo, ubicada en la parte frontal, consta de un motor con su respectiva reducción conectado por medio de una cadena a la rueda tractora y directriz, y otro motor con reducción mediante corona y sinfín el cual permite un giro de 180° del sistema en caso de retroceso. Posee también un freno electromecánico y un par de sistemas de protección para el mecanismo tractor y directriz.

El motor de tracción es de imán permanente y se encuentra en el mercado para ser usado en limpiaparabrisas de vehículos. Posee reducción mediante sinfín y corona,

elementos que fueron contruídos en acero templado para darles mayor resistencia. El rotor fue rebobinado para trabajar en 24 volts y de este modo evitar pérdidas de potencia por el sistema electrónico interpuesto.

La rueda tractora recibe el movimiento mediante una cadena a través de un sistema de piñón libre que permite el giro de ésta en caso de ser empujado el vehículo.

Una rueda dentada tipo crique confiere un mecanismo de traba permitiendo que la rueda tractora gire en una única dirección, frenando la silla automáticamente cuando ésta tiende a moverse en dirección opuesta al sentido de trabajo del sin fin. Este sistema es necesario para evitar deslizamientos hacia atrás de la silla, especialmente en subidas pronunciadas.

El motor de dirección confiere giro a la rueda tractora. Se trata de un motor con imán permanente rebobinado a 24 volts similar al de tracción, al cual se le acopló un sinfín que hermana sobre una corona solidaria el eje de la horquilla de la rueda tractora-directriz, pudiendo ésta completar un giro de 180°.

Un sistema de seguridad para el mecanismo de dirección consiste de un par de interruptores eléctricos que evitan giros mayores de 180° a fin de preservar el cableado eléctrico.

El freno es del tipo a disco con pastillas y pinza; el disco es solidario a la rueda. La pinza sujeta las pastillas de freno, las cuales a través de un tornillo se ajustan sobre la superficie del disco deteniendo el vehículo. El tornillo es comandado mediante un electroimán desde la palanca de mando (joy stick, comando bucal, etc.).

El comando puede ser, de acuerdo a la patología del paciente, del tipo manual (joy stick), como en el presente desarrollo, bucal, de cabeza, de pies, de hombros, etc.

El comando permite el accionamiento de los motores de tracción y de giro ya sea en forma independiente o simultánea, la posición inversa de la misma causa el frenado del vehículo desactivando el motor de tracción.

Un circuito electrónico permite superar el problema de arranque y parada brusca al ser energizado el motor. Este fenómeno es

\* Sección: 4 cm<sup>2</sup>.

uno de los más comunes en las sillas de ruedas, originando diversos inconvenientes (por ejemplo: sacudones desagradables para el usuario\*, roturas y fatiga de los componentes mecánicos; etc.).

Este circuito alimenta el motor de tracción de corriente continua, 24 volts, del tipo imán permanente de bajo consumo.

Un sistema de relays inversores alimenta, previo paso por un sistema de protección de giro, al motor direccional. El sistema de protección consiste en un par de micro-switches que evitan giros mayores de 180° de la rueda directora desactivando el sistema de relays inversores en el caso que la rueda gire a su máximo ángulo de rotación hacia derecha e izquierda.

Un freno electromecánico, de colocación optativa según el uso de la silla, permite detenerla en forma inmediata. Está construido por una bobina solenoide que acciona dos zapatas sobre un disco metálico, en forma similar a los frenos convencionales usados en motocicletas.

## DESARROLLO Y CONSTRUCCION DE UNA ORTESIS PARA EL ALIVIO DE LA TORTICOLIS ESPASMODICA

Las tortícolis de origen neurológico son de difícil tratamiento médico, tanto desde el punto de vista de la remisión total de la enfermedad como de un alivio parcial (Referencias 22 a 24).

Esta enfermedad, cuyo nombre científico es distonía segmentaria cérvico-braquial, origina la rotación de la cabeza en forma latero-axial, con las consiguientes secuelas: contracciones musculares, dolor, posición antiestética, problemas psicológicos, etc.

En el caso tratado en el IMA, se trata de una paciente de 37 años, con más de 15 de desarrollo de la enfermedad. A pesar de diversos tratamientos, no ha obtenido una remisión apreciable, motivo por el cual en los últimos tres años ha usado en forma permanente un Collar de Filadelfia para evitar las contracciones y dolores, lográndolo en gran medida.

Sin embargo, el uso intensivo del collar introduce algunas desventajas menores, tales como: excesiva temperatura en verano localizada en la zona afectada, escamaciones, pérdida de estética, problemas en el uso de determinada indumentaria, desacostumbramiento al trabajo de músculos no afectados por la enfermedad, etc.

Además, la observación del comportamiento estructural del collar sometido al esfuerzo inducido por el acercamiento entre el hombro y la cabeza, permite asegurar que sólo una pequeña porción del mismo es utilizada para soportar la desviación de esta última.

Por tal motivo, se optó por confeccionar un aparato especial que suministrara sólo una pequeña zona de apoyo para la cabeza a la altura de la mandíbula inferior y por debajo de la oreja izquierda (Refs. 25 y 26, ver Figura 5).

Muchos fueron los cambios introducidos a sugerencia de la paciente durante la etapa de desarrollo y sin duda muchos retoques más tendrán lugar durante el proceso de evaluación y adaptación.

Sin embargo, se han notado sustanciales mejoras con respecto al collar de Filadelfia (debe tenerse en cuenta que éste fue conce-

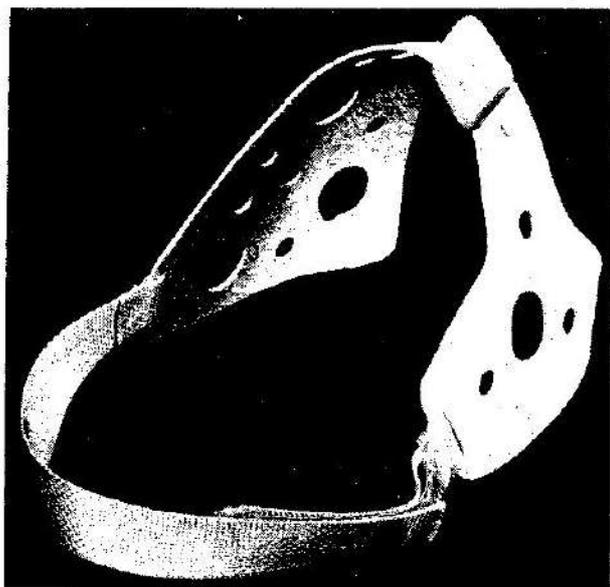


Fig. 5.— Ortesis para el alivio de la tortícolis espasmódica.

\* En el caso de los comandos bucales se llega a perder el contacto boca-palanquilla.

bido exclusivamente para usos traumatológicos).

La principal ventaja comparativa es que el presente desarrollo permite movimientos de la cabeza libremente en todas las direcciones, con excepción de la restricción impuesta en sentido contrario al movimiento ocasionado por la enfermedad.

Asimismo, alivia notablemente las contracciones musculares y el dolor consecuente. Al respecto, es importante señalar que el desacostumbramiento al trabajo de músculos sanos producido por el uso permanente del collar de Filadelfia, produjo dolor al comienzo del uso del sostén.

Otro aspecto fundamental es que el aparato mejora sustancialmente la estética del paciente, contribuyendo a un cambio psicológico en la aceptación de la enfermedad y por consiguiente un mejor desenvolvimiento social.

Resulta destacable que desde el desarrollo de la primera ortesis aquí descripta, se recepcionaron dos nuevas solicitudes: una por parte de un Diputado uruguayo y otra de una señora mendocina, habiéndose construido ambas y encontrándose actualmente en la etapa de evaluación mediante el uso. Los resultados preliminares resultan satisfactorios.

## CONCLUSION

El Cuadro N° 1 muestra las instituciones hospitalarias a las que se ha hecho entrega de diversos inyectores desarrollados y construídos en el Instituto de Mecánica Aplicada. De acuerdo a la información recibida los resultados han sido exitosos.

En la actualidad se comienza un programa de desarrollo de inyectores para uso médico-veterinario contándose con el asesoro-

Cuadro 1.— Inyectores desarrollados e instituciones a las que se ha hecho entrega de los mismos.

Inyector	Instituciones a las cuales se ha hecho entrega de inyectores
Linfografía	Hospital José Penna - Hospital de Clínicas (F. de Medicina UNBA) - Hospital de Neuquén - Facultad de Medicina (Universidad Nacional de La Plata) - Hospital Español Bs. As. - Hospital Naval Puerto Belgrano.
Intrauterina	Hospital José Penna - Maternidad Provincial (Córdoba IMA II) - Maternidad Provincial (Córdoba IMA III).
Infusión continua	Hospital José Penna.
Regulable alimentación parenteral: (También para heparinización)	Hospital de Clínicas José de San Martín (UNBA) - Hospital de Niños de Córdoba - Hospital de Infecciosas F. J. Muñiz Bs. As. - Maternidad Roque Sáenz Peña (Rosario) - Hospital Naval Puerto Belgrano.
Alimentación enteral	Hospital José Penna.
Portables a cuerda	Hospital José Penna - Hospital de Niños de Bs. As. - Hospital Municipal (Bahía Blanca).
Portables a pila	Hospital José Penna.
Inyector a período regulable	Hospital José Penna
Inyector para drogas citostáticas	Fundación Oncológica del Sur.

ramiento del médico veterinario Teniente Dr. Marcelo Roberto. Las evaluaciones del sistema logrado serán llevadas a cabo por la Dirección de Remonta y Veterinaria del Ejército Argentino.

Considerando todas las instituciones y personas\* que han hecho y hacen, uso de la tecnología generada en el Instituto de Mecánica Aplicada en la disciplina BIOINGENIERIA puede concluirse que el proceso de transferencia ha sido logrado en forma directa\*\* si bien se espera que a mediano plazo sea la industria nacional la que fabrique los sistemas desarrollados.

## AGRADECIMIENTOS

El presente programa, de casi dos décadas de existencia, ha sido posible gracias al apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) tanto a través de su apoyo institucional al Instituto de Mecánica Aplicada como por los Proyectos de Investigación y Desarrollo y el PID-BID 1992 auspiciados por el CONICET.

También se agradece el apoyo del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur; de la Facultad Regional Bahía Blanca (Universidad Tecnológica Nacional), del Servicio Naval de Investigación y Desarrollo y de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.

Varias organizaciones comerciales han prestado también un valioso apoyo: Hernández Hnos (Punta Alta, Buenos Aires), Radio Stock (Punta Alta, Buenos Aires), Fundación Banco del Sur (Bahía Blanca), EIBAR (Bahía Blanca), Marchese Electricidad (Bahía Blanca), Antonio De Mónaco (Bahía Blanca), RALMES (Bahía Blanca), Fernández y Fernández (Bahía Blanca),

\* Una situación concreta: el padre que pudo construir una silla de ruedas autopropulsada para su hijo minusválido gracias al asesoramiento de personal técnico de la Facultad Regional Bahía Blanca y el Instituto de Mecánica Aplicada.

\*\* También ha existido y existe preocupación en el IMA por el problema de "contaminación acústica" y el análisis de situaciones de posible riesgo para el ser humano (ver, por ejemplo, Referencia 27).

Hernandez SRL (Bahía Blanca) y CELSIUS Comercial (Bahía Blanca).

Además de los autores de esta publicación han participado en el programa: J. L. Pombo, R. E. Rossi, M. J. Maurizi, D. Bambill, E. Romanelli, V. H. Palluzzi, G. M. Ficcadenti y R. Cascone, y los profesionales médicos M. C. Aggio, E. A. Laura, A. Sánchez, A. de la Torre, J. Sumay, N. Vaccarino, J. Peñalver, A. Besendo y D. Máquez.

Entre los estudiantes que han participado en el programa merece especial mención Andrés Romero quien comenzó sus actividades en el IMA (ad-honorem) siendo estudiante de la Escuela ENET N° 1 y ha continuado trabajando como técnico en el programa descripto. Cursa actualmente ingeniería electrónica en la Facultad Regional Bahía Blanca (Universidad Tecnológica Nacional).

También se agradece el generoso apoyo y cooperación del Sr. J. Emiliani, Jefe del Taller de la Facultad mencionada en la construcción de diversos elementos y a la Sra. M. Susana Grenada de Mussini por el dactilografiado de las diversas publicaciones generadas en el curso del programa.

## REFERENCIAS

1. KENEDI, R. M. Biomechanical highlights the personal miscellany of a decade. *Journal of Biomedical Engineering* 10, 477-482 (1988).
2. LAURA, P. A. A. The applied bioengineering program in Bahía Blanca, Argentina. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine* (1992).
3. LAURA, P. A. A., LA MALFA, S., ERCOLI, L y MAQUEZ, D. Reduction of infant incubators services noise. *Journal of Sound and Vibration*, 103, 446-447 (1985).
4. LAURA, P. A. A., LA MALFA, S., BESENDO, A. R. y ALVAREZ, R. Noises and the new-born risks and preventive measures, (in spanish). *Archivos Argentinos de Pediatría*, 84, 243-248 (1986).
5. LAURA, P. A. A., ROSSI, R. E. y MAURIZI, M. J. Dynamic analysis of a simplified bone model during the process of fracture healing. *Journal of Biomedical Engineering*, 12, 157-160 (1990).
6. LAURA, P. A. A., ROSSI, R. E. y BAMBILL, D. V. Dynamic analysis of leaflet stresses and application to heart valve design. *Journal of Biomedical Engineering*, 10, 453-457 (1988).
7. POMBO, J. L., LAURA, P. A. A. y AGGIO, M. Inyector portable a cuerda para diversas drogas. Instituto de Mecánica Aplicada, Publicación IMA N° 80-15 (1980).
8. POMBO, J. L. y LAURA, P. A. A. Inyector portable a cuerda para insulina. Instituto de Mecánica Aplicada. Publicación IMA N° 80-30 (1983).

9. PASQUA, D., POMBO, J. L., LAURA, P. A. A. y AGGIO, M. Inyector portable a cuerda para diversas drogas. Publicación IMA N° 84-23 (1984).
10. POMBO, J. L., LA MALFA, S., DEL POZO, C., LAURA, P. A. A. y AGGIO, M. Desarrollo y construcción de una bomba para linfografía. Instituto de Mecánica Aplicada. Publicación N° 76-9 (1976).
11. POMBO, J. L., LA MALFA, S., LAURA, P. A. A., DE LA TORRE, A. y VACCARINO, N. Bomba para infusión intrauterina. Instituto de Mecánica Aplicada. Publicación IMA N° 76-29 (1976).
12. POMBO, J. L., LA MALFA, S., LAURA, P. A. A. y AGGIO, M. Bomba de infusión continua para diversas drogas. Instituto de Mecánica Aplicada. Publicación IMA N° 79-22 (1979).
13. LA MALFA, S., POMBO, J. L., ERCOLI, L. y LAURA, P. A. A. Inyector regulable para alimentación parenteral y diversas drogas. Instituto de Mecánica Aplicada, Publicación IMA N° 79-32 (1979).
14. LA MALFA, S., ERCOLI, L. y LAURA, P. A. A. Inyector regulable para alimentación enteral y diversas drogas. Instituto de Mecánica Aplicada. Publicación IMA N° 85-36 (1985).
15. LA MALFA, S., ROMERO, E. y ROMERO, A. O. Desarrollo y construcción de un inyector para drogas citostáticas. Instituto de Mecánica Aplicada, Publicación IMA N° 92-16 (1991).
16. PASQUA, D., LA MALFA, S. Inyector de período regulable. Instituto de Mecánica Aplicada. Publicación IMA N° 84-18 (1984).
17. PASQUA, D., LA MALFA, S. y LAURA, P. A. A. Desarrollo y construcción de un nuevo inyector de período regulable para post-operatorios en intervenciones quirúrgicas diversas. Instituto de Mecánica Aplicada. Publicación IMA N° 89-10 (1989).
18. LAURA, E. A., AUDISIO, M. A., JOSID, J., BEL, M., PASQUA, D., LA MALFA, S. y LAURA, P. A. A. Un método para mantener la permeabilidad de los drenajes quirúrgicos. Congreso Anual de la Asociación Argentina de Cirugía, Buenos Aires (Octubre 1986).
19. PASQUA, D., ROMERO, A., LAURA, P. A. A. y AGGIO, M. Desarrollo de un inyector portable, a pila, para talasémicos, diabéticos y cancerosos. Instituto de Mecánica Aplicada. Publicación IMA N° 88-41 (1988).
20. LA MALFA, S. y ROMERO, A. Desarrollo y construcción de una silla de ruedas autopropulsada. Instituto de Mecánica Aplicada. Publicación IMA N° 91-26 (1991).
21. POMBO, J. L., PASQUA, D. y LA MALFA, S. Sistema de propulsión con comando bucal para niños cuadripléjicos. Instituto de Mecánica Aplicada. Publicación IMA N° 85-41 (1985).
22. LOWENSTEIN, D. H. y AMINOFF, M. J. The Clinical Course of Spasmodic Torticollis. *Neurology*, Vol. 38, N° 4, pp. 530-532 (1988).
23. GELB, D. J., LOWENSTEIN, D. G. y AMINOFF, M. J. Controlled Trial of Botulinum Toxin Injections in the Treatment of Spasmodic Torticollis. *Neurology*, Vol. 39, N° 1, pp. 80-84 (1989).
24. JANKOVIC, J. y BRIN, M. F. Therapeutic Uses of Botulinum Toxin. *The New England Journal of Medicine*, pp. 1186-1194 (1991).
25. ERCOLI, L. Desarrollo y construcción de una ortesis para el alivio de la torticollis espasmódica (disonía segmentaria cervico-braquial). Instituto de Mecánica Aplicada. Publicación IMA N° 91-32 (1991).
26. ERCOLI, L. y GERSHNIK, O. Orthotic Device Replaces Sensory Trick in Torticollis. 2do. Congreso Internacional de Desórdenes del Movimiento, Munich, Alemania. Junio 24-26 (1992).
27. LAURA, P. A. A., POMBO, J. L. y ERCOLI, L. Sobre el problema de ruido en criaderos de aves domésticas. *Orientación Avícola* 138, 22-26 (Noviembre 1987).

Manuscrito recibido en marzo 1993