

AREA

AGENDA DE REFLEXIÓN EN ARQUITECTURA, DISEÑO Y URBANISMO
agenda of reflection on architecture, design and urbanism

número 7
agosto 2000

Universidad de Buenos Aires
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Secretaría de Investigaciones en Ciencia y Técnica

CONTENIDOS/CONTENTS

1. **Editorial**
- Julio Bermúdez*
3. **Ontología, lugar y construcción en el ciberespacio: consideraciones de diseño**
- Jorge Vila Ortiz*
13. **La complejidad formal en el diseño de productos**
- Eduardo Benzo, Mario Mariño, Andrés Rodríguez y Gerardo Tomé*
27. **Cama mecatrónica de alta complejidad**
- Carmen Velásquez, Laura Rodríguez y Víctor González*
43. **Instrumento para el estudio de las plazas. Estructura para el análisis de las plazas de la ciudad de Maracaibo**
- Guillermo Tella*
55. **Efectos de una modernización tardía en la región metropolitana de Buenos Aires**
- David Kullock, Andrea Catenazzi y Nilda Pierro*
67. **Servicio de agua y saneamiento en el AMBA: surgimiento de su demanda y desarrollo de su resolución. Desde el «pozo a balde» hasta la concesión de los servicios**

Los contenidos de AREA aparecen en:
The contents of AREA are covered in:
Architectural Publications Index
LatBook, Internet <http://www.latbook.com>

AREA

AGENDA DE REFLEXIÓN EN ARQUITECTURA, DISEÑO Y URBANISMO
agenda of reflection on architecture, design and urbanism

número 7, agosto 2000

CAMA MECATRÓNICA DE ALTA COMPLEJIDAD

Eduardo Benzo, Mario Mariño, Andrés Rodríguez y Gerardo Tomé

equipamiento médico
medical equipment

diseño
design

mecatrónica
mechatronics

úlceras por decúbito
decubitus ulcers

Centro de Investigación en Diseño Industrial de
Productos Complejos

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, UBA

Ciudad Universitaria Pab. 3 piso 4 of. 425

1428 Buenos Aires, Argentina

Tel. (54-11) 4789-6200 int 6344, fax (54-11) 4576-3205

E-mail: cidimm@fadu.uba.ar

Mechatronic bed of high complexity

Patients suffering from neurological troubles, weakness and lack of sensitivity, as well as other chronic ailments, are prone to decubitus ulcers. Decubitus ulcers are a major complication that inevitably worsens the base pathology and affects 25 % of patients, with resulting death of 7 % of them. In the best healthcare systems, prevention and healing of this type of pathology should be considered a priority. Assistance of the same, demands knowledge, skilled personnel and supplies. Supplies and skilled personnel are not always within the reach of the organizations responsible for the health of the population. Since 1992, at Buenos Aires University, we have been searching for a solution to this problem, an effort that has resulted in the construction of an innovative high complexity bed. Initial technical assumptions and field tests have shown that the applications of this technology cover a much wider range than the care of decubitus ulcers. Applying this methodology results in: a) the decrease of specific pressure on critical areas of the body, b) the increase of blood supply in the tissues released from pressure. The application of this technology has enabled the creation of a high complexity mechatronic bed that facilitates not only the prevention and treatment of decubitus

Los pacientes afectados por daños de carácter neurológico, debilitamiento y pérdida de sensibilidad, así como también otras enfermedades de carácter crónico, están expuestos a la producción de úlceras por decúbito. Las úlceras por decúbito son una complicación mayor que inevitablemente agrava el cuadro de la patología de base y que afecta a un 25 % de los pacientes, de los cuales el 7 % muere. Incluso hoy en día, contando con los mejores programas de atención, se producen ulceraciones. En los sistemas de salud, la prevención y cura de este tipo de patología debería ser de una alta prioridad. Su atención exige conocimiento, personal idóneo y recursos. El personal especializado y los recursos no siempre están al alcance de los organismos que atienden la salud de la población. A partir de 1992, en la Universidad de Buenos Aires, nos abocamos a la investigación y búsqueda de soluciones a esta problemática, obteniendo como resultado una cama innovativa de alta complejidad. Las asunciones teóricas iniciales y las pruebas de campo han demostrado que el rango de aplicaciones de esta tecnología abarca un espectro mucho más amplio que el de la atención de las úlceras por decúbito. Aplicando esta metodología se obtiene: a) la disminución de la presión específica sobre áreas críticas del cuerpo, b) un aumento de la irrigación sanguínea de los tejidos liberados de presión. La aplicación de esta tecnología ha dado como resultado la creación de una cama mecatrónica de alta complejidad, que permite

ulcers but also the treatment of a wide range of pathologies and the natural enlargement of its possibilities as an interface between the treatment and care of chronic and elderly patients, prostrate or bedridden. Field tests and the checkup of functional aspects by means of sensor technology enable us to foresee positive effects on the prevention of complications in the base pathology, the most important of which are: the prevention of decubitus ulcers, the treatment and recovery of neurological patients, postoperative in chest and abdominal surgery, in which decubitus position is extremely important to facilitate drainage, postoperative of phletomic surgery patients, passive stimulation of neurological patients (e.g., hemiplegia in the dissociation of the shoulder girdle from the pelvid girdle), the assistance with patients with burns, as an aid in respiratory kinesitherapy addressed to place the patient in various decubitus so as to achieve the proper drainage of bronchopulmonary segmentation, the mobility the bed imparts to the patient facilitates the ventilation of pulmonar fields.

no sólo la prevención y tratamiento de úlceras por decúbito sino también la atención de un amplio rango de patologías, y la natural extensión de sus facilidades como interfaz de tratamiento a la atención de pacientes crónicos y de la tercera edad en estado de postración y semipostración. Las pruebas de campo y la verificación mediante la tecnología de sensores de los aspectos funcionales hacen prever un efecto positivo en la prevención de complicaciones de la patología de base, siendo las más relevantes: prevención de úlceras por decúbito, tratamiento y recuperación de enfermos neurológicos, en postoperatorios de cirugía de torax y abdomen, en donde la decubitación es de suma importancia para facilitar los drenajes, en la estimulación pasiva de pacientes neurológicos (por ejemplo en hemipléjicos, en la disociación de la cintura escapular respecto de la cintura pelviana), como ayuda en terapia intensiva en la asistencia kinésica respiratoria para la colocación del paciente en los diferentes decúbitos para obtener un buen drenaje del árbol bronquial, en drenajes posturales respiratorios, particularmente desde el punto de vista infectológico.

El término "mecatrónica" (mecánica y electrónica) fue acuñado por los japoneses a mediados de los años setenta, para describir una nueva tecnología surgida de la fusión de otras. Mecatrónica es una nueva tecnología avanzada que crea ahorro de energía, ahorro de recursos y sistemas inteligentes, a través de la integración de la mecánica, la electrónica y el software (Makoto 1992).

Introducción

Una revisión de la literatura existente determina que la prevención y tratamiento de úlceras por decúbito en enfermos que deben permanecer en cama por períodos prolongados, ha sido y es una de las grandes preocupaciones en la atención de pacientes en internación hospitalaria. En hospitales para agudos o instituciones geriátricas, la proporción de pacientes que desarrollan úlceras por compresión es de hasta el 20 % (Kelley 1990). Un 25 % de los pacientes afectados de patologías neurológicas sufren

de úlceras por decúbito, de los cuales el 7 % muere (Ditunno y Staas 1991: 263). El desarrollo de una úlcera por compresión ha sido asociado con un riesgo de muerte cuatro veces mayor, y la curación deficiente de una de estas úlceras aumenta este riesgo a casi seis veces más (Kelley 1990) (Figura 1).



Figura 1: Imagen de una úlcera por compresión. Se origina como consecuencia de la presión ejercida entre prominencias óseas y la superficie externa. La producción de estas úlceras está relacionada fundamentalmente con la falta de oxigenación de la piel y tejidos celulares subcutáneos debido a fuerzas de compresión aplicadas durante períodos prolongados. Este efecto destruye el tejido y origina el comienzo de un proceso infeccioso.

La consecuencia económica de la aparición de esta patología ha dado como resultado que en países desarrollados los costos de tratamiento de enfermería aumenten un 50 % por sobre el costo medio de internación básica. Los seguros de salud por lo tanto asignan un 25 % más por encima del arancel estándar para la atención de úlceras por decúbito (Ditunno y Staas 1991: 263).

Lo anteriormente expuesto ha sido el núcleo teórico sobre el cual se ha fundamentado el desarrollo de la investigación como un aporte sustantivo al diseño de carácter social. El desarrollo de la investigación estuvo centrado en la generación del diseño de concepto para la resolución del producto, el desarrollo de la ingeniería de producto correspondiente y la verificación de los objetivos preliminares a través del desarrollo de una matriz de sensores de presión.

En la etapa teórica se aplicó la metodología de Pahl y Beitz (1977) con el objetivo preciso

de la identificación de cajas negras que significaran un obstáculo para el desarrollo de la tecnología propuesta. Para esto se recurrió a la herramienta informática a través de modelizaciones tridimensionales, animaciones y aplicaciones multimedia. Esto permitió definir con precisión que para prevenir las patologías anteriormente mencionadas, específicamente aquellas referidas a la creación de úlceras por decúbito, el movimiento corporal del enfermo debía realizarse a través del accionamiento de una lámina flexible.

Ensayos de laboratorio con la aplicación de sensores de presión determinaron fehacientemente, por medio de imágenes paramétricas bidimensionales, que, efectivamente, las posiciones adoptadas por la lámina reducían los niveles de presión a la vez que se desplazaban los centros de presión, permitiendo restaurar la circulación de los tejidos sometidos, reoxigenándose por medio del proceso de hiperemia reactiva (Winsor y Hyman 1966).

Una vez verificada la validez de las hipótesis inicialmente enunciadas, se inició la etapa de realización de la ingeniería de producto. Se utilizaron para esto sistemas de computación gráfica 3D, los que se constituyeron en las herramientas básicas de desarrollo. La metodología empleada permitió en primer lugar el desarrollo de *layouts* preliminares de ingeniería con el objetivo preciso de determinar zonas de interferencias mecánicas y verificar la cadena cinemática. Una vez verificada esta etapa e introducidos los cambios de ingeniería necesarios, se pasó a la generación de planos de detalle con el fin de desarrollar los componentes necesarios para la fabricación de los prototipos.

Coincidentemente con esta etapa se desarrolló la electrónica asociada al proyecto, cuyo núcleo fundamental fue el diseño de la unidad de programación y control. Para la obtención de componentes críticos tuvo un papel preponderante el Centro de Investigaciones Ópticas (CIOP), Laboratorio de Procesamiento Láser (Campus Tecnológico Gonnet - CIC).

Previo a la instalación de los prototipos en unidades hospitalarias se realizaron pruebas de

vida en laboratorio funcional de los distintos conjuntos electromecánicos. Como resultado de estas pruebas, se identificaron y corrigieron algunos problemas de diseño.

El 9 de septiembre de 1998 se iniciaron las pruebas de campo, para lo cual se envió un prototipo a la unidad de cuidados intensivos del Instituto de Medicina Experimental "Dr. Miguel Angel Roffo", dependiente de la UBA.

Hasta la fecha, y luego de haber cumplido más de 8.000 horas de funcionamiento ininterrumpido, no se han registrado inconvenientes ni fallas de confiabilidad en los distintos componentes estructurales, mecánicos y electrónicos que componen la cama.

La jefatura de la unidad de cuidados intensivos y los profesionales médicos que intervinieron han comprobado hasta el momento que el producto no solo reduce la incidencia de úlceras por decúbito sino que su campo de aplicación es mucho más amplio del originalmente planteado, como por ejemplo: acelera el período de recuperación del paciente, mejora úlceras ya formadas, estimula neurológicamente al paciente, previene la aparición de complicaciones embólicas, disminuye la frecuencia de aparición de infecciones respiratorias y permite posicionar al paciente para drenajes quirúrgicos e intervenciones de emergencia.

La tecnología desarrollada impacta favorablemente a nivel hospitalario, ya que acorta el período de pacientes en etapa aguda, reduce los períodos de internación, aumentando la rotación de pacientes en las distintas áreas de internación y reduciendo en un porcentaje importante la carga de enfermería.

Bases fisiológicas de la producción de escaras

Las úlceras por compresión son lesiones causadas por el mantenimiento de un nivel de presión que daña los tejidos involucrados. Usualmente, las úlceras por compresión se originan por presiones ejercidas entre las prominencias óseas y los tejidos que las sustentan. Presiones localizadas prolongadas provocan oclusión del flujo sanguíneo (proceso isquémico), que de no revertirse produce un alto nivel de hipoxia que finalmente desemboca en la muerte celular. Se clasifican en cuatro grados, según la profundidad de la lesión en función del daño presente en el tejido. En la Figura 2a-d se esquematizan las etapas definidas por la AHCPR (Agency for Health Care Policy and Research). En la Figura 3 se puede ver una úlcera de grado 3 por compresión.

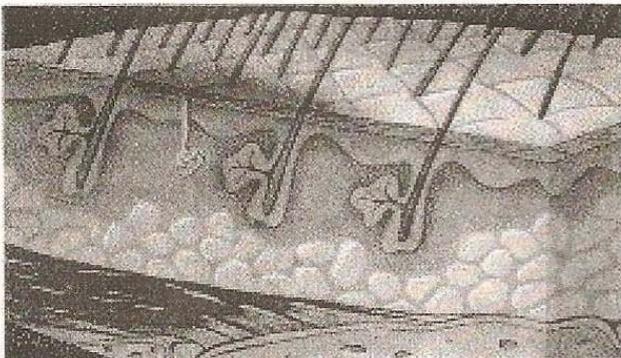


Figura 2a: Esquema correspondiente a úlcera de grado 1, limitada a la epidermis superficial y a las capas de tejido conjuntivo vascular que conforman la dermis.

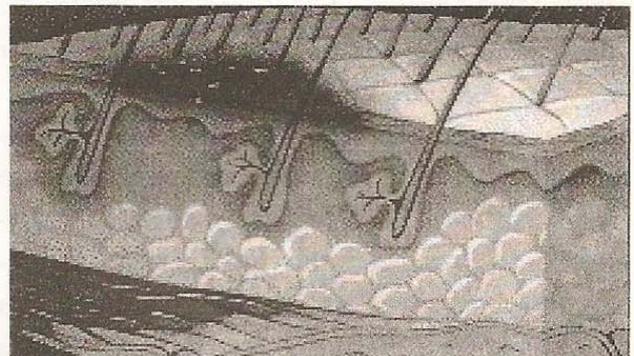


Figura 2b: Esquema correspondiente a úlcera de grado 2, envolviendo la epidermis y las capas de la dermis y extendiéndose en el tejido adiposo.

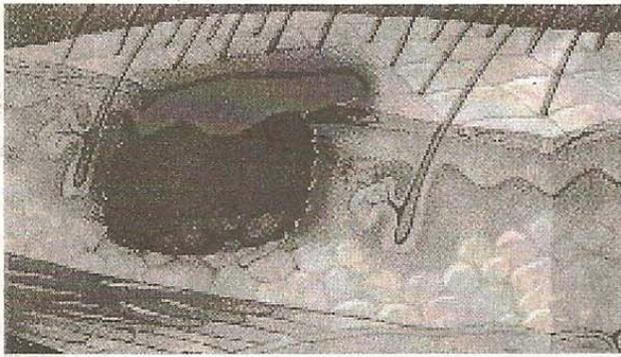


Figura 2c: Esquema correspondiente a úlcera de grado 3, extendiéndose a través de la estructura superficial y el tejido adiposo incluyendo el muscular.



Figura 3: Úlcera de grado 3 por compresión en región sacra.

La cantidad y duración de la presión son los factores primarios que contribuyen al desarrollo de úlceras por compresión. Esta relación tiempo-presión fue demostrada en perros, en los que se desarrollaron úlceras isquémicas con 500 mmHg de presión aplicada durante 2 horas o aplicando 150 mmHg a lo largo de 10 horas. Sin embargo, un análisis microscópico reveló cambios en el tejido con sólo 60 mmHg durante 1 hora (Kosiak 1959).

Estas presiones son clínicamente relevantes: una persona sana sentada sobre una superficie plana genera presiones de entre 300 mmHg y 500 mmHg sobre sus apoyos. En cambio, con un almohadón de espuma poliuretánica de 50 mm de altura, la presión se reduce a sólo 160 mmHg (Kosiak et al. 1958).

Un paciente en posición supina en una cama hospitalaria convencional ejerce una presión de 50 a 94 mmHg en la zona de apoyo de los talones, y en posición lateral ejerce una presión de entre 55 mmHg y 95 mmHg en la zona de apo-



Figura 2d: Esquema correspondiente a úlcera de grado 4, destrucción del tejido blando hasta el hueso o las articulaciones, o ambas.

yo femoral-trocanter (Maklebust et al. 1958). Estos niveles de presión exceden los normales de presión intracapilar que varían entre 12 mmHg y 32 mmHg, siendo suficientes para producir oclusión local, isquemia e hipoxia (Landis 1930).

Otros factores extrínsecos al paciente y que contribuyen a la formación de úlceras son: fricción, rozamiento y humedad. En cuanto a factores intrínsecos del paciente se mencionan: inmovilidad, incontinencia, estado nutricional pobre, disminución del nivel de conciencia y disminución de defensas (Allman et al. 1992, 1995).

Las úlceras por compresión son un problema común y costoso en áreas de cuidado crítico y en internación domiciliaria. Por ejemplo, la incidencia (nuevos casos aparecidos dentro de un período específico de tiempo) de úlceras por compresión en unidades de cuidados intensivos varía entre 2,7 % y 29,5 % con una prevalencia entre 3,5 % y 29,5 %. Se pueden mencionar poblaciones con mayores riesgos, por ejemplo: pacientes cuadripléjicos (60 % de prevalencia), pacientes ancianos admitidos por fractura femoral (66 % de incidencia) y pacientes con cuidados críticos (33 % de incidencia y 41 % de prevalencia). Estudios realizados en pacientes bajo internación domiciliaria indican una incidencia de úlceras por compresión de 4,3 % y una prevalencia de 12,9 % (AHCPR 1994).

En términos económicos, el costo de tratar las úlceras por compresión puede variar ampliamente; sin embargo, Miller y Delozier han estimado que el costo total en los Estados Unidos para el tratamiento de esta patología excede los 1.335 millones de dólares (AHCPR

1994). El costo adicional promedio para atender a un paciente ulcerado ha sido estimado en 1.300 dólares por paciente u 80 dólares por día de internación (Alterescu 1989). En el caso de internación domiciliaria, este costo adicional se ha estimado en 751 dólares por paciente o 5,35 dólares por día y por escara (Frantz et al. 1991).

Principios biomecánicos aplicados para la prevención del proceso de escaramiento

La naturaleza del aporte conceptual de la nueva interfase propuesta consiste en reproducir, en forma análoga, la técnica clásica de cambio de posición del paciente. La técnica clásica consiste en cambiar las posiciones del paciente en forma periódica y sistemática con la intervención de personal de enfermería (Figura 4).

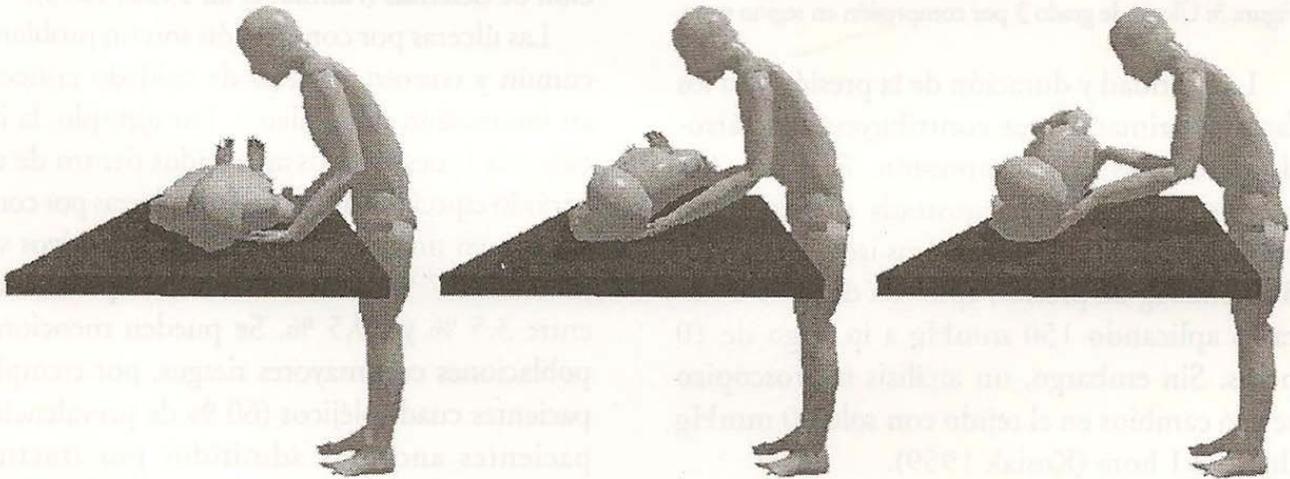


Figura 4: Técnica clásica de cambio de posición, que se intenta reproducir en forma mecatrónica.

Estado de la técnica para la solución de los procesos de escaramiento

Existen un surtido de soluciones para la prevención de las úlceras por compresión. Se intenta en todos los casos reducir o eliminar alguno de los factores principales que contribuyen al desarrollo de las mismas: nivel de pre-

En nuestro modelo teórico hemos considerado al cuerpo humano como un sólido cuya superficie se ve sometida a la acción de los vectores de presión; éstos son a su vez generalmente producidos por el plano soporte sobre el que está apoyado el cuerpo. Estos vectores de presión, teóricamente, dejan de actuar o disminuyen su presión específica sobre la superficie en la medida en que se consiga hacer rotar el cuerpo.

La propuesta proyectual pretende, por medios mecatrónicos, movilizar al paciente sin intervención de personal auxiliar, de manera de modificar los puntos de apoyo corporales y así reducir el tiempo de acción de niveles de presión perjudiciales para los tejidos sometidos.

La originalidad del modelo teórico proyectado reside entonces en el diseño de un sistema que reproduzca la técnica clásica, mediante rotación lateral del paciente, además de incorporar los movimientos convencionales de elevación de torso y piernas de las camas hospitalarias.

sión, tiempo de mantenimiento de la presión, fricción, rozamiento, malnutrición e incontinencia.

La mayoría de los dispositivos apuntan a reducir los niveles de presión sobre la superficie de apoyo de los tejidos. Esto se logra con la intervención de distintas tecnologías. Desde colchones de espuma de alta densidad de entre 100 mm y 150 mm de espesor, colchones de

cámaras inflables de manera alternativa e intermitente, hasta complejas interfases que suspenden al paciente sobre una lámina sostenida por un borboteo de pequeñas esferas de silicona, son todas éstas soluciones basadas en mantener al paciente en posición horizontal (Figura 5).

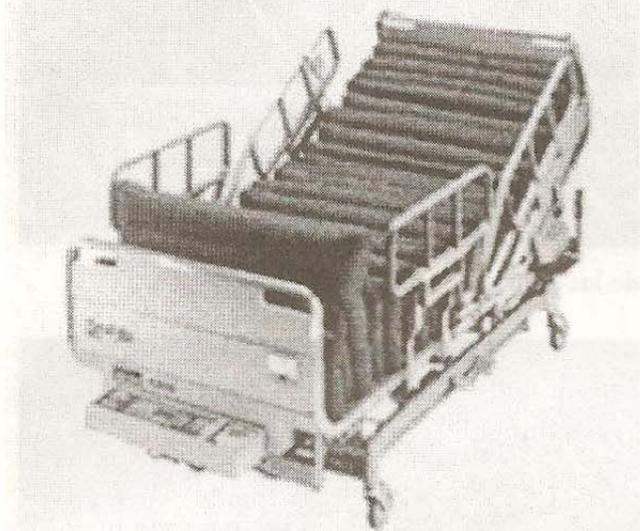


Figura 5: Cama "TheraPulse", basada en cámaras inflables.

Otros productos buscan reducir los niveles de presión y el tiempo de mantenimiento de la misma, para lo cual se valen de cámaras inflables que recorren transversalmente la cama y que, mediante cambios programados de presión, logran rotar lateralmente al paciente hasta un ángulo de 30 grados.

La base empírica de esta investigación estuvo fundada en el análisis ergonómico y funcional de todas las interfases existentes en el mercado internacional. La Figura 6 muestra los primeros intentos de modelización conceptual.

La solución propuesta trabaja reduciendo simultáneamente dos factores principales: los niveles de presión y los tiempos de mantenimiento de dichas presiones. Para esto, la cama incorpora un colchón de formulación especial de alta densidad que reduce las presiones específicas al distribuir el peso corporal sobre una mayor superficie de apoyo. Además, los mecanismos electromecánicos permiten la movilización del paciente en un amplio margen y de manera preprogramada, a fin de reducir el tiempo de mantenimiento de las presiones que pudieran producir úlceras por compresión.

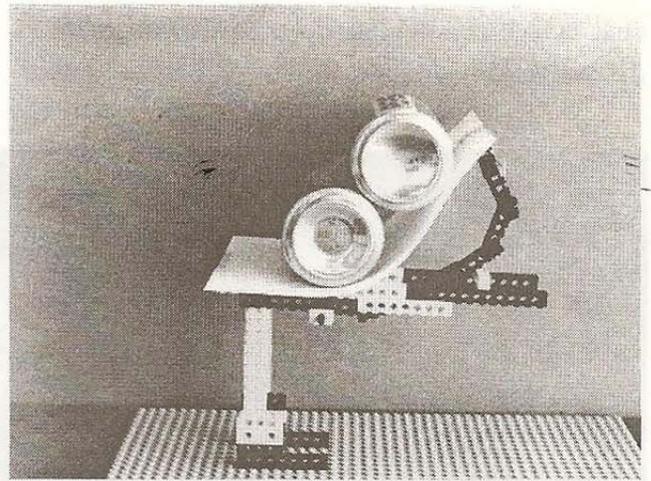


Figura 6: Primeros intentos de modelización conceptual.

El diseño propuesto permite además actuar sobre el paciente durante maniobras de resucitación, a diferencia de las interfases basadas en cámaras inflables o suspensión en burbujas de silicona. En la Figura 7 se observa el modelo de preproducción.

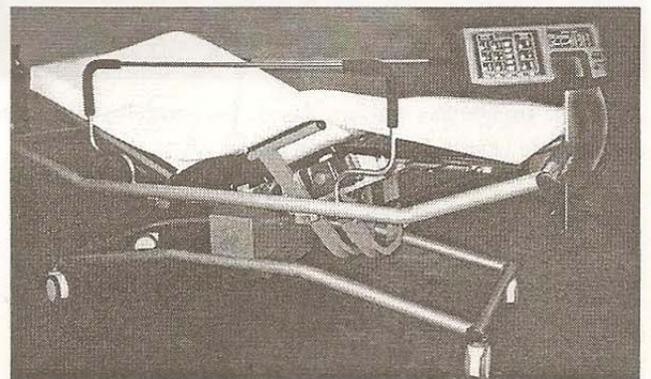


Figura 7: Imagen correspondiente al modelo de preproducción, actualmente funcionando en la unidad de terapia intensiva del Instituto Dr. Roffo de Buenos Aires.

Metodología del proceso de I+D

Para el desarrollo del modelo de cama mecatrónica se utilizó, como metodología instrumental de diseño, la herramienta informática mediante la realización de modelos tridimensionales por CAD. Esto permitió generar todo tipo de modelizaciones y animaciones en concordancia con las distintas posiciones que es capaz de adoptar la interfase. Se pudo

analizar por consiguiente el trabajo biomecánico de rotación del paciente y los aspectos

cinemáticos del sistema de actuadores (Figuras 8 y 9).

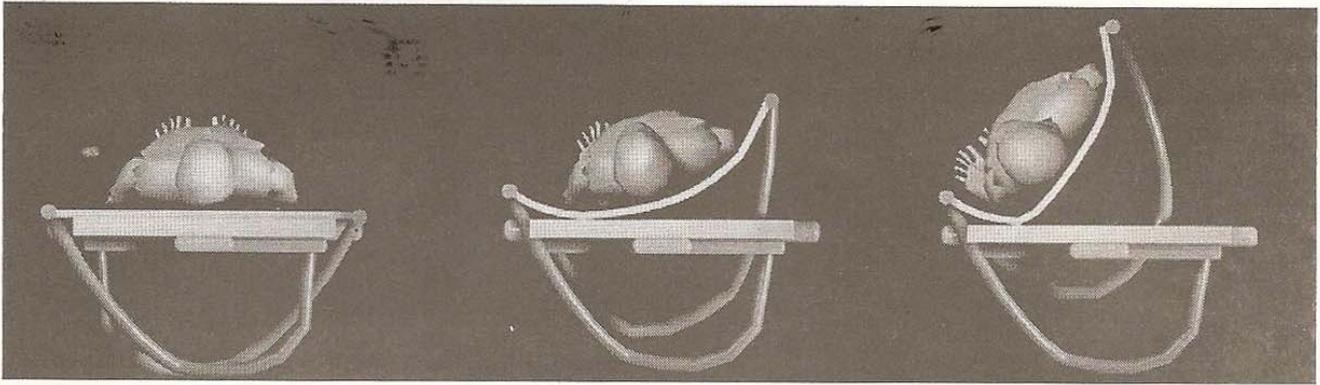


Figura 8: Secuencia de movilización lateral del paciente utilizando los principios conceptuales desarrollados.

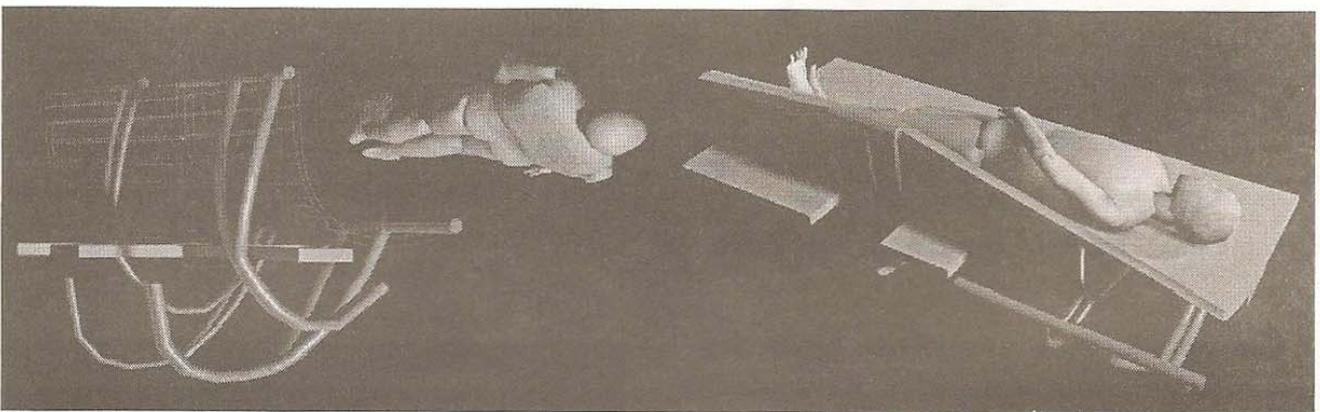


Figura 9: Imágenes renderizadas de los modelos tridimensionales utilizados para analizar la capacidad de movilización corporal de la interfase en desarrollo.

El diseño industrial actuó como un elemento totalizador de las variables intervinientes en la concreción del modelo teórico. Esto se entiende tomando al diseño como la interfase de adecuación indispensable entre los desarrollos tecnológicos y el receptor natural, que es el hombre.

Como corroboración de los aspectos teóricos de la investigación, se desarrolló una hipótesis auxiliar como instrumento científico de verificación. Esta hipótesis auxiliar estuvo centrada en el desarrollo, en una primera etapa, de celdas de carga con sus circuitos electrónicos de acondicionamiento, amplificación y multiplexado digital, con el objeto de procesar la información generada (Figura 10). Con el objeto de obtener un muestreo de zonas críticas de interés, se construyó una matriz de

sensado de presiones específicas, y para presentar los datos obtenidos en una forma más afín a la práctica médica se generaron series de imágenes paramétricas bidimensionales que facilitaron el análisis de los datos procesados (Benzo et al. 1995) (Figura 11).

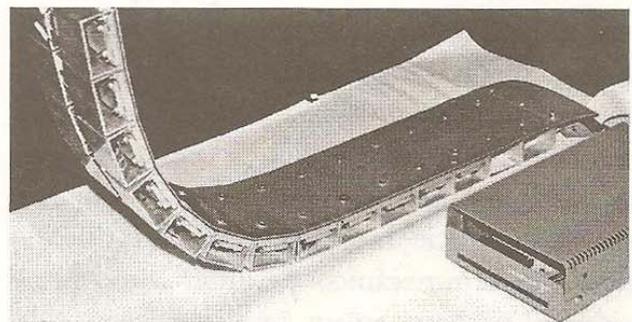


Figura 10: Instrumento científico de verificación. Consiste de un arreglo de sensores de presión e interfaz electrónica de adquisición de datos.

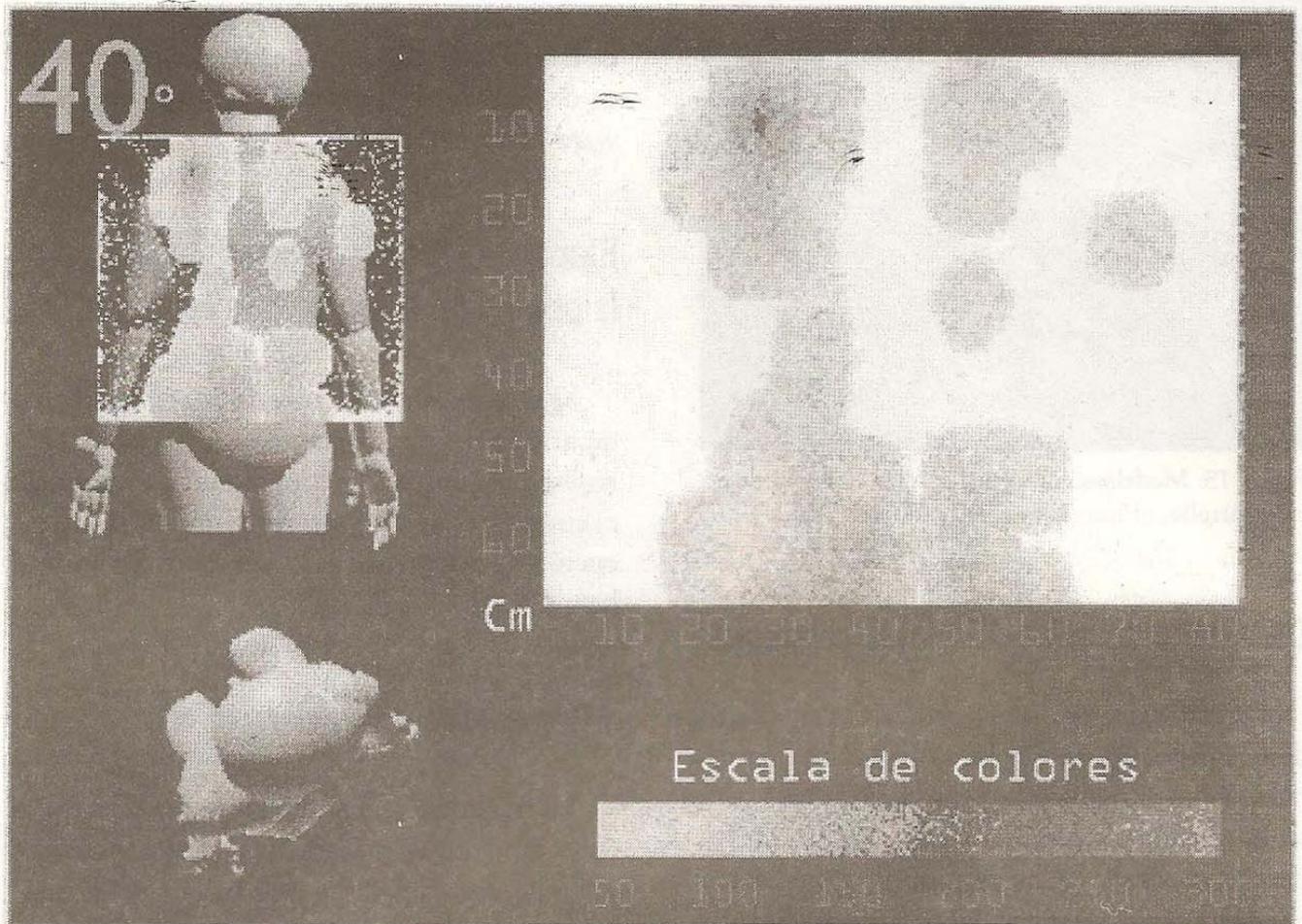


Figura 11: Imagen paramétrica correspondiente a rotación lateral del paciente a 40 grados.

Como resultado de la corroboración de las asunciones teóricas, el paso siguiente fue el desarrollo de la ingeniería de producto de los distintos

componentes, siendo el objetivo final la obtención de un producto de alta complejidad listo para ser producido en escala industrial (Figuras 12 y 13).

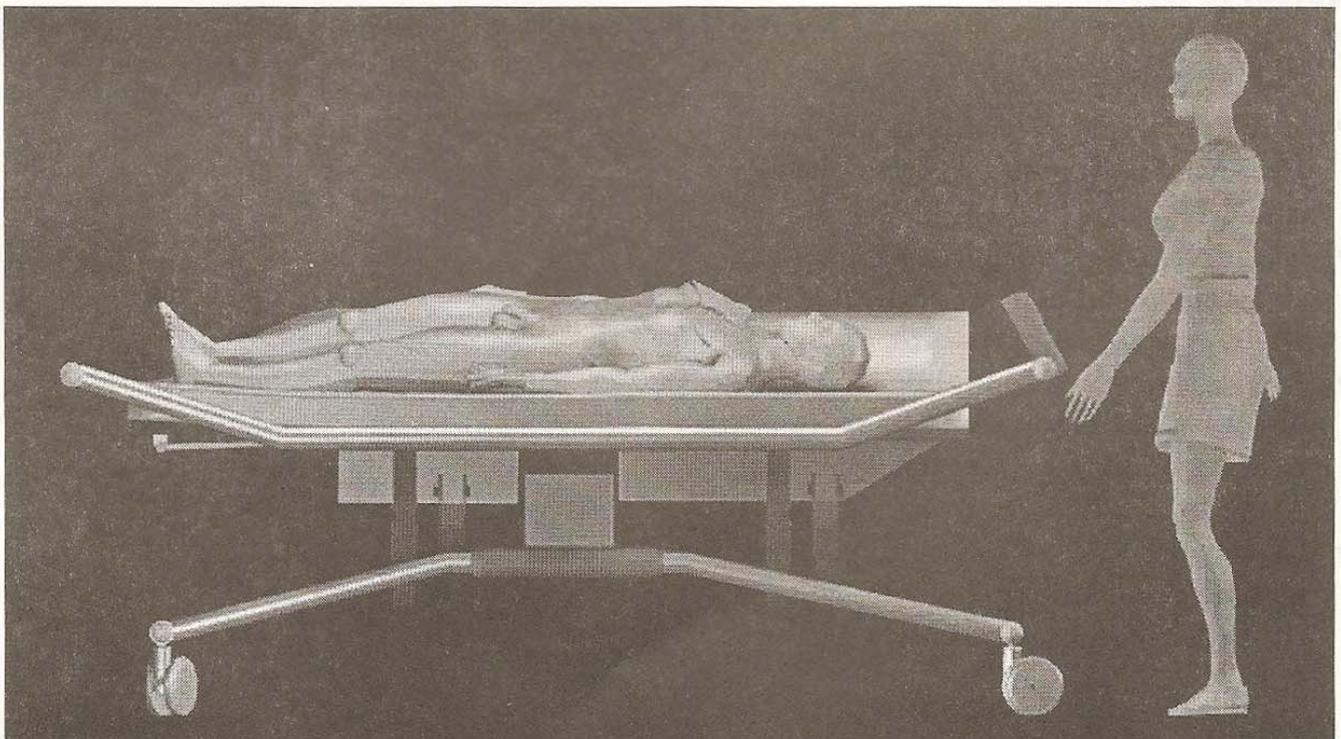


Figura 12: Maqueta electrónica de la cama desarrollada.

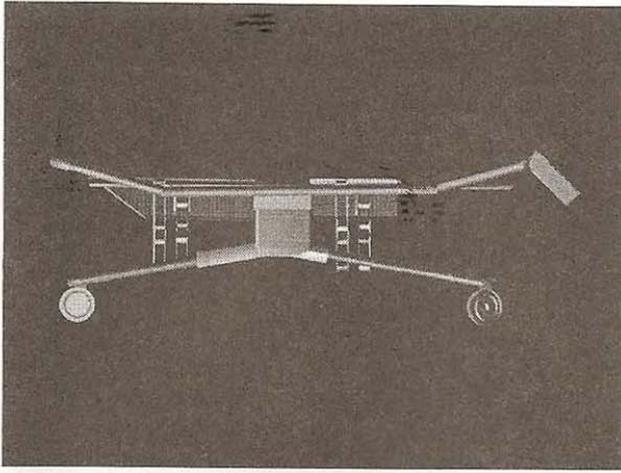


Figura 13: Modelización virtual completa del producto en desarrollo, utilizando herramientas de CAD.

Desarrollo de la ingeniería de producto

De esta etapa se espera obtener un producto de alta tecnología, competitivo a nivel internacional, con un alto grado de innovación y listo para ser producido en escala industrial. Para ello se espera, a través de la interacción de la ingeniería electromecánica, la ingeniería electrónica, el software y el diseño industrial, generar la información de la ingeniería de producto necesaria para la producción en serie de la cama desarrollada.

Objetivos tecnológicos

Fueron objetivos tecnológicos específicos:

- La correcta operación de los sistemas de actuadores, que producen el efecto de rotación del paciente.
- La adopción por parte de los planos de apoyo del cuerpo del paciente de las posiciones tradicionales de las camas ortopédicas.
- La programación y control de las distintas posiciones que puede adoptar el cuerpo del paciente, de acuerdo a su patología, a través de una unidad electrónica.
- La obtención, desde el punto de vista estructural, de un producto de servicio pesado, apto para la atención en emergencias hospitalarias.

A partir de estas consideraciones, se estuvo en condiciones de desarrollar: el diseño

mecatrónico, el análisis cinemático y dinámico de la interfase, el diseño de la unidad electrónica de control de posición y el diseño del software correspondiente.

Etapas del proceso metodológico para la obtención del prototipo funcional

Se definieron las siguientes cuatro etapas: a) desarrollo del diseño electromecánico, b) desarrollo de la unidad de programación y control, c) construcción del prototipo funcional, d) ejecución de pruebas de campo dentro del ámbito hospitalario.

a) Desarrollo del diseño electromecánico

La finalidad en esta etapa fue el desarrollo de componentes mecánicos y electromecánicos y la selección de partes disponibles en el mercado, con el fin de reducir los costos.

Para el desarrollo de los componentes mecánicos se contó con el apoyo de herramientas informáticas a través de modelizaciones por CAD, verificación de interferencias, análisis de las cadenas cinemáticas (Figura 14).

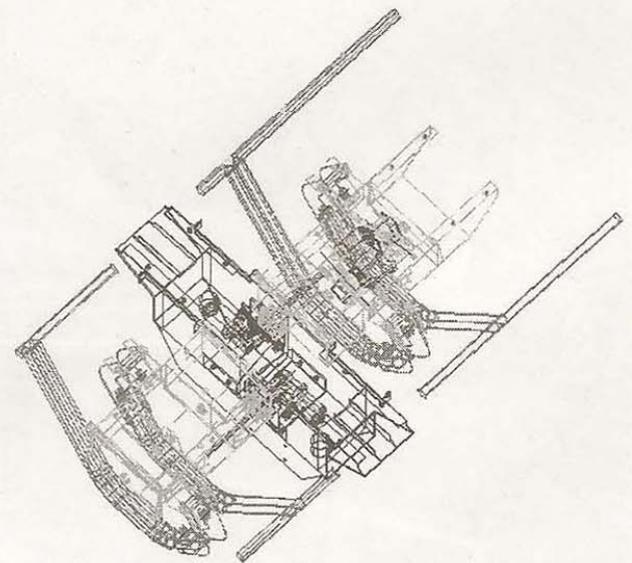


Figura 14: Modelización por CAD de la estructura central y cuerpos móviles de la cama mecatrónica.

Simultáneamente, en esta etapa se determinaron las normas de control de calidad y especificaciones que debían satisfacer los componentes. Las modelizaciones por CAD permitieron el desarrollo paralelo de los dispositivos de soldadura y montaje para la obtención posterior de prototipos funcionales de acuerdo con los estándares de calidad y tolerancia establecidos.

b) Desarrollo de la unidad de programación y control

En esta etapa se desarrolló un trabajo interdisciplinario con especialistas médicos para definir los requerimientos del software de control en función de las diversas patologías a atender.

Se generó el software y la electrónica asociada de acuerdo con esos requerimientos. Se elaboraron especificaciones técnicas con los requisitos a satisfacer por el instrumental.

Se diseñó un experimento de verificación del comportamiento ergonómico del mecanismo rotador con el dispositivo de programación y control. A partir de imágenes paramétricas obtenidas en estos ensayos de laboratorio, se revisaron y ajustaron los requerimientos establecidos al comienzo.

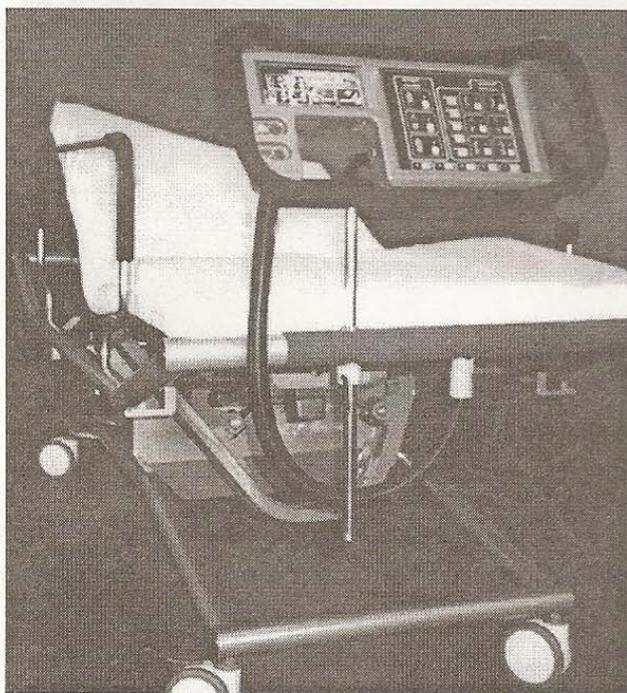


Figura 15: Cama versión preproducción. Se observa la consola correspondiente a la unidad de control electrónico soportada en la piesera.

La unidad de control está basada en microprocesadores de última generación, cuenta con un sistema de seguridad optoelectrónico y control de emisiones interferentes según normas internacionales. Todo el sistema se alimenta con baja tensión (12v CC) (Figura 15).

Una consola de programación, ubicada en la piesera de la cama, permite generar una variedad de secuencias de tratamiento que se ajustan a las distintas patologías. Un comando manual adicional permite controlar cada uno de los seis sectores de la cama en forma independiente.

c) Construcción del prototipo funcional

Esta etapa se caracterizó por el trabajo de montaje y armado de los componentes mecánicos, electromecánicos y electrónicos desarrollados en las etapas anteriores (Figura 16).

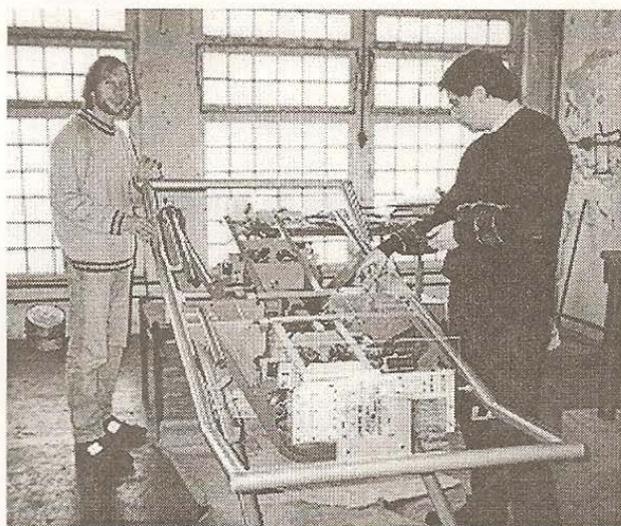


Figura 16: Imagen de la construcción del primer prototipo funcional.

Sobre el prototipo elaborado se aplicaron los controles de calidad y los ensayos de pruebas de vida según las especificaciones elaboradas.

El ensayo funcional de la cama prototipo en condiciones de laboratorio permitió descubrir e introducir los ajustes de ingeniería necesarios para optimizar el producto.

Todas las modificaciones y optimizaciones se introdujeron en la construcción de un segundo prototipo, que fue sujeto a ensayos y controles en las mismas condiciones.

d) Pruebas de campo

En esta etapa, un prototipo con características de modelo de preproducción se instaló el 7 de septiembre de 1998 en la unidad de terapia intensiva del Instituto de Medicina Experimental Dr. Roffo, dependiente de la UBA. Este prototipo estuvo sujeto a trabajo en condiciones de campo durante más de 8.000 horas en forma ininterrumpida.

A través del análisis de 54 casos con diversas patologías, se ha comprobado que la cama no sólo reduce la incidencia de úlceras por decúbito, sino que su campo de aplicación se extiende en áreas no contempladas originalmente. Los aspectos del uso verificados son:

- Reducción de la incidencia de úlceras por compresión.
- Mejor recuperación de úlceras ya formadas.
- Estimulación neurológica.
- Prevención de complicaciones embólicas.
- Reducción de la aparición de infecciones respiratorias.
- Mejora y facilita la asistencia kinésica respiratoria.
- Reducción de la carga de enfermería.
- Operatoria simple.
- Tratamientos confortables.

Descripción del producto resultante

Desde el punto de vista tecnológico, la cama de alta complejidad resultante de la aplicación de la metodología de desarrollo descripta responde a las normas y especificaciones internacionales para productos de uso hospitalario. La Figura 17 muestra algunas de las diferentes posiciones que puede adoptar la cama. Entre las características principales se encuentran:

- Un producto diseñado para servicio pesado con muy bajo nivel de mantenimiento.
- La aplicación de motores de bajo voltaje (12 v) provenientes de la industria automotriz y de servicio continuo asegura la confiabilidad y riesgo cero para el paciente ante la presencia de azares eléctricos.

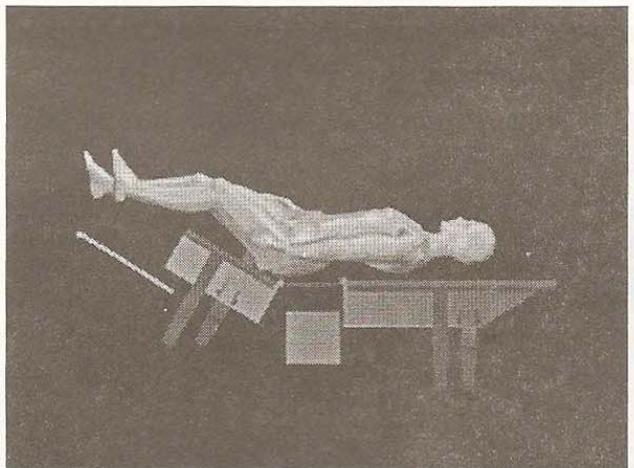
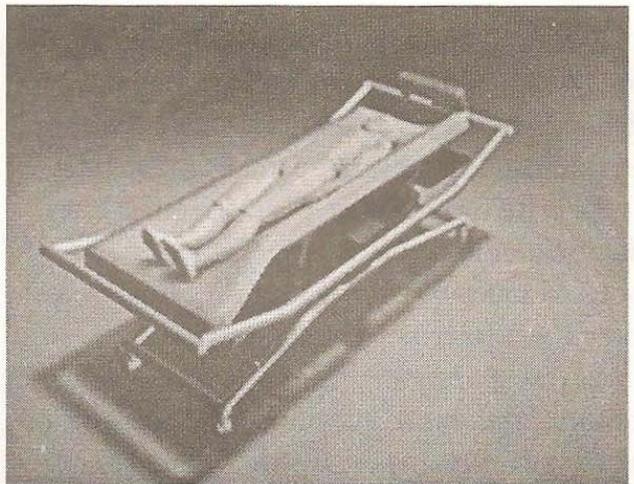
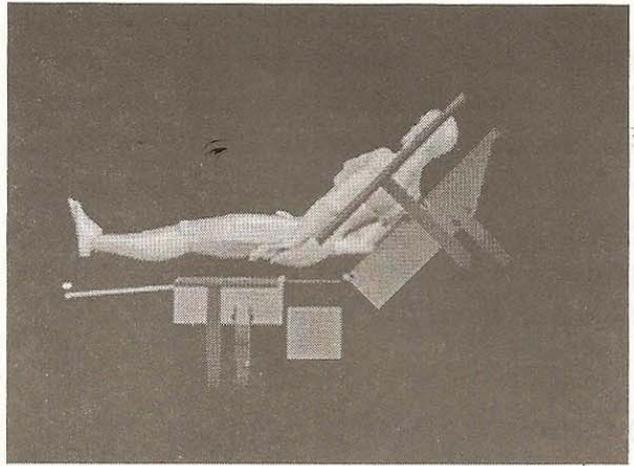


Figura 17: Algunas de las diferentes posiciones que puede adoptar la cama.

- El cuerpo central contiene la electrónica que suministra la alimentación a los conjuntos electromecánicos, con filtros de línea de uso médico para evitar las interferencias con los demás equipamientos presentes en el contexto.
- Los materiales intervinientes y los tratamientos superficiales previenen la corrosión en

presencia de los agentes químicos utilizados en ámbitos hospitalarios.

- La configuración de la cama permite el acceso al paciente desde los cuatro lados sin impedimentos, así como trasladarlo directamente a quirófano.
- Los mecanismos de actuación incorporados permiten colocar al paciente en las posiciones habituales y en otras que no eran posibles con las camas ortopédicas tradicionales.
- Todos los movimientos (tanto los tradicionales como los de rotación no convencional) se ejecutan a muy baja velocidad, con mínimo nivel de sonoridad y pueden aplicarse a tratamientos nocturnos sin perturbar el período de reposo del paciente.
- Cuenta con una unidad de programación y control que permite la configuración de rutinas terapéuticas con los movimientos y tiempos adecuados a cada patología.
- La interfaz de usuario de la unidad de programación y control se diseñó de acuerdo con principios de retroalimentación del estado del sistema, y reduce al mínimo la curva de aprendizaje del personal de enfermería.
- Para situaciones de emergencia, la unidad de programación y control ha sido provista con una tecla *shut down* que interrumpe toda la programación en marcha y coloca automáticamente la cama en posición horizontal para permitir el trabajo del equipo médico.
- El colchón ha sido especialmente diseñado para permitir una adecuación ergonómica a todas las posiciones que la cama puede adoptar.

Especificaciones técnicas

- Medidas 2,10 m x 1 m x 0,90 m.
- Peso aproximado: 85 kg.
- Colchón de formulación especial de 100 mm de espesor.

- Ruedas de servicio pesado (2 con freno).
- Estructura de caño de acero de sección circular de 50 mm de diámetro.
- Barandas laterales de acero inoxidable.
- Accesorios portasueros.
- Terminación superficial: pintura poliuretánica de alta resistencia a la abrasión y agentes químicos.
- Cantidad de motores: 6 (12v CC servicio continuo).
- Movimientos de rotación basados en cuatro conjuntos actuadores accionados con sistema motorreductor y transmisión por tornillo sin fin.
- Movimientos de elevación de torso y piernas basados en dos conjuntos motorreductores con transmisión por tornillo sin fin.
- Alimentación general: 220 v, 50 hz.
- Consumo promedio: 40W.
- Filtrado de línea de uso médico.
- Consola de programación de movimientos de acceso ergonómico.
- Control de potencia: electrónico tipo puente H, con aislación optoelectrónica.
- Electrónica de control basada en microprocesador arquitectura RISC.
- La consola dispone de *display* alfanumérico, teclado luminoso de 40 teclas.
- Salida RS232.
- Tratamientos preprogramados: 115.
- Tratamientos basados en movimientos laterales antisimétricos.
- Tratamientos basados en movimientos laterales simétricos.
- Tratamientos basados en rotaciones laterales (rutinas antiescaras) de muy baja velocidad.
- Tratamientos de movilización para estimulación neurológica.

En la Figura 18 se pueden apreciar otros aspectos de la versión preproducción y del segundo prototipo construido, mientras que en la Figura 19 se muestran modelizaciones CAD con detalles de la columna central y soportes de torso y piernas.

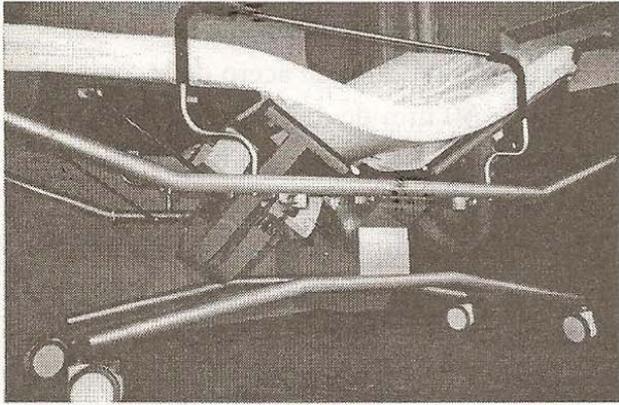


Figura 18: a) Imagen de la versión preproducción de la cama mecatrónica. Detalle de columna central, del sistema de rotadores laterales y de elevadores de torso y piernas. b) Imagen correspondiente al segundo prototipo construido.

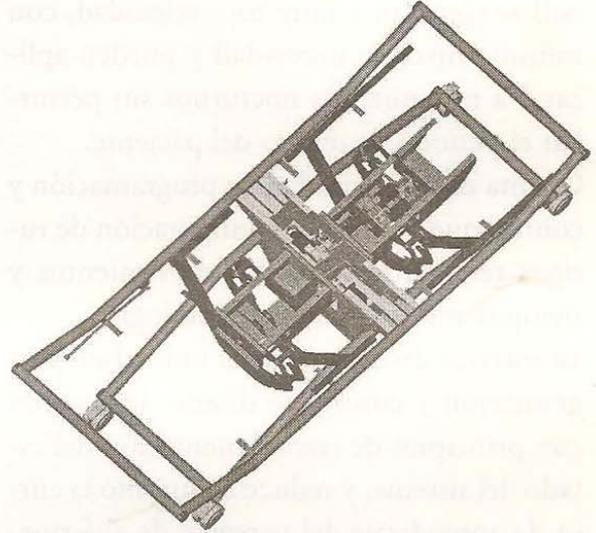
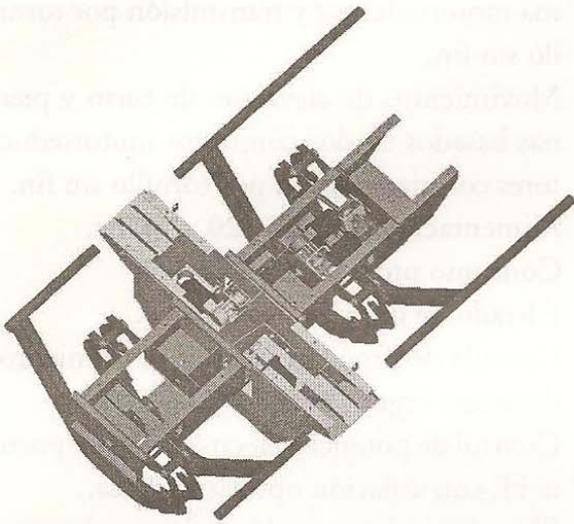


Figura 19: Modelización por CAD. Conjunto de columna central y soportes de torso y piernas con los rotadores.

Consideraciones finales

Se ha alcanzado un producto altamente competitivo en el mercado internacional por precio y tecnología, que ha sido protegido con las patentes concedidas en la República Argentina (250.218), en los Estados Unidos (5.640.729) y en la Comunidad Europea (674.893).

Esta tecnología, por su bajo costo relativo, ha de tener un impacto social positivo, ya que acelera la recuperación de los pacientes garantizando un elevado nivel de confort y seguridad.

Recientes estudios e investigaciones desarrolladas en nuestro Centro (Proyecto TA032, Secretaría de Ciencia y Técnica UBA, 1998-2000) presentan a la tecnología básica desarrollada como aplicable en una cama que se mimetice en un ambiente doméstico, para ser utilizada en internación domiciliaria, enfermos crónicos, etc.

Agradecimientos

Este proyecto ha sido financiado con recursos provenientes de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires y de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

Referencias

- AHCPR, Agency for Health Care Policy and Research. 1994. *Pressure ulcer treatment*, Clinical Guideline 15, Publicación 95-0652 (Washington: Agency for Health Care Policy and Research).
- ALTERESCU, V. 1989. "The financial cost of impatient pressure ulcers to an acute care facility", *Decubitus* 2 (3), 14-23.

- ALLMAN, R., et al. 1992. *Individual risk factors in panel for the prediction and prevention of pressure ulcers in adults*, Guideline Technical Report 3, Publicación 92-0013 (Washington: Agency for Health Care Policy and Research).
- . 1995. "Pressure ulcer risk factors among hospitalized patients with activity limitation", *Journal of the American Medical Association* 273, 865-870.
- BENZO, E., et al. 1995. "Verificación a través de imágenes paramétricas del comportamiento teórico de una cama mecatrónica", en *Anales del Primer Congreso Internacional de Matemática y Diseño* (Buenos Aires: FADU-UBA), 11-18.
- DITUNNO, John, y William E. STAAS. 1991. *Clinical advances in physical medicine and rehabilitation*, cap. 14, "Advances in physiatric management of patients to prevent and heal decubiti" (Washington: Organización Mundial de la Salud).
- FRANTZ, R., et al. 1991. "The cost of treating pressure ulcers in a long-term care facility", *Decubitus* 4, 37-45.
- * KELLEY, William. 1990. *Medicina interna*, tomo II, capítulo 529 (Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana).
- KOSIAK, M. 1959. "Etiology and pathology of ischemic ulcers", *Archives of Physical Medical Rehabilitation* 40, 62-71.
- , et al. 1958. "Evaluation of pressure as a factor in the production of ischial ulcers", *Archives of Physical Medical Rehabilitation* 39, 623-629.
- LANDIS, E. 1930. "Micro-injection studies of capillary blood pressure in human skin", *Heart* 15, 209-228.
- MAKLEBUST, J., et al. 1958. "Pressure relief characteristics of various support surface in the production of ischial ulcers", *Journal of Enterostomal Therapy* 13, 86-89.
- MAKOTO, Kajitani. 1992. "What has brought mechatronics into existence in Japan?", *Proceedings of the First Japanese-French Congress of Mechatronics*, Besançon.
- PAHL, G., y W. BEITZ. 1977. *Konstruktionslehre* (Berlín: Springer). Traducción inglesa, *Engineering design: a systematic approach* (Londres: Design Council, 1984).
- WINSOR, T., y C. HYMAN. 1966. *Enfermedades vasculares periféricas* (Buenos Aires: Editorial Interamericana).

Recibido: 28 septiembre 1999; aceptado: 5 abril 2000

Eduardo Benzo es ingeniero en electrónica, graduado en la Universidad de Buenos Aires. Fue becario de perfeccionamiento de la UBA, y actualmente cursa el Master en Ingeniería Biomédica de la Fundación Favaloro.

Mario H. S. Mariño es doctor de la Universidad de Buenos Aires, profesor titular y director del Centro de Investigación en Diseño Industrial de Productos Complejos de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la UBA. Es investigador categoría 1 (CIN).

Andrés Rodríguez es diseñador industrial, graduado en la Universidad Nacional de La Plata y master en Ingeniería de Software de la misma universidad. Fue becario de perfeccionamiento de la UBA.

Gerardo L. Tomé es diseñador industrial, graduado en la Universidad Nacional de La Plata. Ejerce la docencia como profesor adjunto, y es subdirector del Centro de Investigación en Diseño Industrial de Productos Complejos de la FADU-UBA.