AREA

agenda de reflexión en arquitectura,
diseño y urbanismo

agenda of reflection on architecture,
design and urbanism

Nº 20 | OCTUBRE DE 2014
REVISTA ANUAL

Universidad de Buenos Aires
Facultad de Arquitectura,
Diseño y Urbanismo

CONTENIDOS | *CONTENTS*

7 Editorial

9 Pieles reflectivas como estrategia pasiva de enfriamiento urbano. Clasificación de pinturas para fachadas según costo económico - beneficio térmico
NOELIA ALCHAPAR | ÉRICA CORREA | MARÍA A. CANTÓN

21 Proyecto ergonómico para personas con curvatura excesiva de la columna vertebral
DAMIÁN BARBIROTTO

37 Análisis socioambiental, paisajístico y zonificación para el saneamiento de las márgenes de la Cuenca Matanza Riachuelo
SILVANA M. CAPPUCCIO | JOSÉ R. DADON | ALEJANDRA M. RODRÍGUEZ TOMIETTO | MARIELA D. MORÉ

61 Restricciones y estímulos a la propiedad. Impacto de las políticas nacionales en el mercado de viviendas de Rosario entre 1920 y 1948
JIMENA P. CUTRUNEO

75 Procesos de vaciamiento y destrucción creativa en un barrio de la Ciudad de Buenos Aires. El caso de los ex–terrenos ferroviarios y los predios adyacentes
JULIANA MARCÚS | MARÍA DE LA PAZ AQUINO | JOAQUÍN BENÍTEZ | MAGDALENA FELICE | AGUSTINA MÁRQUEZ

87 Redes, vínculos y trayectorias. Ejemplos de la autonomía progresiva del campo disciplinar y la profesión del arquitecto en Mendoza (1950-1970)
CELIA CIRVINI | CECILIA RAFFA

103 Los sistemas de representación sensible en ingresantes a carreras de arquitectura y diseño
STELLA M. VÁZQUEZ | STELLA M. GARCÍA | MARIANELA NORIEGA BIGGIO

114 Reseña de libro

116 Aperturas

Los contenidos de *AREA* aparecen en:
The contents of ***AREA*** *are covered in:*
Latindex: www.latindex.unam.mx
A.R.L.A. arlared.org

ergonomía
confort
asientos
postura sedante
cifosis
escoliosis

ergonomic
comfort
seats
adaptable posture
kyphosis
scoliosis

> DAMIÁN BARBIROTTO
Centro de Investigación en Diseño Industrial,
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Universidad de Buenos Aires

PROYECTO ERGONÓMICO PARA PERSONAS CON CURVATURA EXCESIVA DE LA COLUMNA VERTEBRAL

Este trabajo es una síntesis que expone los resultados obtenidos en el desarrollo de la tesis doctoral "Investigación y desarrollo de una superficie de apoyo ergonómica y dinámica adaptable a múltiples morfologías corporales". Las personas con curvaturas excesivas de la columna muchas veces no obtienen un apoyo confortable cuando utilizan los asientos existentes en el mercado actual. Como forma de dar respuesta al problema real planteado, se proyectó y verificó mediante pruebas de campo un prototipo de superficie con capacidad de adaptación a la forma de la espalda y a los continuos movimientos de ajuste posicional que realiza el usuario para alcanzar la sensación de confort.

Ergonomic project for individuals with considerable curvature of the spine
This report is a summary of the results obtained in the development of the thesis pertaining to the doctorate titled "Research and Development of the Surface of the Adapting Ergonomic and Dynamic Support for Multiple Body Morphologies". Usually, people who suffer from excessive back curvatures are not comfortable enough when they try to sit on the seats commonly used and built in the market nowadays.
In order to meet the needs, field tests were projected and verified through a surface prototype with the capacity to adapt to the shape of the their backs and the ongoing position movements that people make to adjust and feel comfortable.

Introducción

El presente trabajo expone el desarrollo de la tesis doctoral *Investigación y desarrollo de una superficie de apoyo ergonómica y dinámica, adaptable a múltiples morfologías corporales.* La motivación inicial en la elección del tema de investigación fue diseñar un modelo de superficie ergonómica que brindara confort postural a las personas que poseen deformaciones de la columna vertebral, particularmente cifosis y escoliosis.[1] Estas curvaturas afectan el apoyo normal del cuerpo en la posición sedente.
Otro objetivo primordial fue aplicar una metodología para el diseño de objetos que incluyera criterios operativos propios de la investigación científica como ser la formulación de hipótesis y su correspondiente comprobación mediante experimentos que pudieran medir variables de eficiencia postural y confort, verificando las ventajas o innovaciones que se plantean.
Acerca de la relación entre ciencia y tecnología existe una controversia ampliamente debatida que excede los límites de este trabajo, pero que amerita dedicarle unos párrafos. García Córdoba (2007) considera que una investigación que formula hipótesis orientadas a generar soluciones concretas capaces de transformar la realidad pertenece al ámbito de la investigación tecnológica. En cambio, según el mismo autor, el método de investigación científica procura explicar un fenómeno natural o social estando orientado básicamente a la creación de nuevos conocimientos.
Esta postura remite a la diferenciación entre ciencia y técnica que expone Horacio Pando:

> La ciencia fundamentalmente es saber y la técnica fundamentalmente es hacer, por supuesto que ambas respectivamente tienen a su vez: su hacer instrumental, en la primera, y su específico saber, en la segunda… Para la técnica, por su parte, hay que explicitar que ésta es siempre un saber, muy especial, pragmático, experimental, operativo, o sea un saber específico distinto al científico y a otros modos del saber tales como el arte o la fe. Jean Ladriere afirma con toda claridad "el objetivo de la ciencia es el progreso del conocimiento, mientras que la tecnología tiene por objetivo la transformación de la realidad dada". (Breyer, Doberti y Pando 2000: 113)

En el otro polo del debate, Mario Bunge (1991) sostiene que la técnica moderna es en medida creciente —aunque no exclusivamente— ciencia aplicada.
De esta forma, podríamos decir, en principio, que nuestra investigación orientada al diseño y desarrollo de un prototipo que procura solucionar un problema concreto estaría dentro del marco de la investigación tecnológica.
Se trataría fundamentalmente de un *hacer*.
Pero este hacer también nos permite acceder a un saber, a un conocimiento metodológico y técnico derivado de la experimentación y la validación. Es en esta instancia donde las fronteras entre ciencia, técnica y diseño se superponen generándose una relación que lejos de ser limitante, es fructífera a causa del aporte de cada área.
Horacio Pando describe esta fusión como el surgimiento de un nuevo campo: la ciencia de la técnica o tecno-ciencia:

> Se ha creado, a mi entender, un tercer campo o grupo de saberes con una especificidad basada en una combinación de ciencia y técnica. Es una "ciencia de la técnica" específica en cada caso. Por ejemplo en el diseño arquitectónico se genera la arquitectura de sistemas... conformando una serie de principios, normas y en definitiva una capitalización de conocimientos que podemos tipificar como ciencia.
> Esta "ciencia del hacer", corrientemente englobada en la noción de "investigación y desarrollo" es un componente nuevo. (Breyer, Doberti y Pando 2000: 116)

En función de lo anterior, podríamos sintetizar diciendo que nuestra investigación aplica una metodología que desarrolla una solución concreta y también procura generar conocimiento, por lo que consideramos que se inscribe dentro del marco metodológico de la tecno-ciencia.
En relación específica a nuestro objetivo proyectual, la consigna principal fue diseñar

1. Cifosis: Es una incurvación del raquis caracterizada por una evidente giba dorsal. Escoliosis: Es una desviación lateral del raquis acompañada de rotación en los cuerpos vertebrales.

un objeto concebido para adaptarse al sujeto partiendo del análisis de aspectos biomecánicos. De esta forma, nuestro concepto de superficie de apoyo se orientó principalmente a un universo de personas con curvaturas excesivas de la columna vertebral (Figura 1), incluyendo la posibilidad de que fuera utilizado por personas con configuración normal de columna.
Si bien la investigación deriva particularmente en el desarrollo de un prototipo de respaldo con el que se hacen las pruebas de verificación, el cual constituye nuestra solución concreta, el trabajo procura generar conocimiento demostrando que la capacidad de la superficie para adaptarse a la forma y al movimiento del cuerpo es la idea central que soluciona el problema a partir de la cual podrían diseñarse otros equipamientos destinados a brindar confort en general.

Descripción y análisis del problema concreto

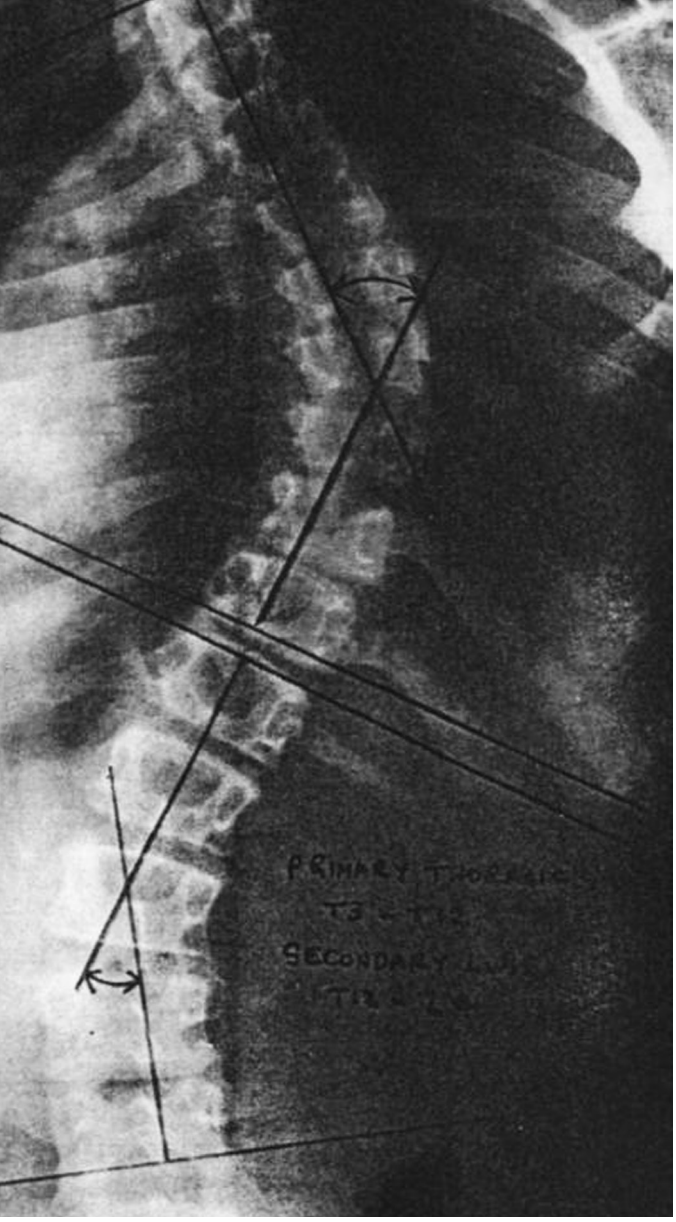
Consideraciones generales

En la actualidad no existen asientos diseñados contemplando las pautas ergonómicas de las personas con deformidad de la columna vertebral. Las consecuencias inmediatas son la falta de confort y la adopción de posturas compensatorias incómodas y disfuncionales para el cuerpo en general. Esto es más notorio particularmente en personas mayores con deterioro de las capacidades funcionales y morfológicas del raquis. La falta de confort se produce por que la superficie no puede adaptarse a la forma corporal. El área de contacto cuerpo-objeto se reduce, aumentando las presiones superficiales en la zona de apoyo y los niveles de contracción muscular, generando sensación de incomodidad.
Como primer acercamiento al problema se investigaron las configuraciones morfológicas mencionadas y las características biomecánicas de la postura sedente.

La columna vertebral y sus curvaturas

La columna vertebral es el elemento estructural principal de nuestro cuerpo. Es responsable del sostén y organiza infinitas combinaciones de movimientos que son la esencia de nuestra expresión, comunicación y vida cotidiana. Las necesidades de la movilidad diaria la asimilan a una estructura arquitectónica, ya que debe ser capaz de brindarle al cuerpo suficiente resistencia mecánica y también permitir la realización de movimientos de flexión, extensión y torsión.
La escoliosis es una desviación lateral del raquis acompañada de una rotación de los cuerpos vertebrales que empujará a las masas musculares y a las costillas produciendo salientes y depresiones tanto en la zona lumbar como en la dorsal (Figura 1). Tiende a producir una giba hacia la convexidad de la curvatura, con inclinación del torso hacia ese lado.
La magnitud de las curvas determina la gravedad de la deformación: "Se consideran escoliosis leves aquellas que no sobrepasan los 25º de inclinación lateral; son medianas las que no exceden de 50º; severas entre 50º y 80º y graves las mayores de 80º" (Cosentino 1986: 143). La localización es muy variable siendo la zona torácica y lumbar las que concentran el 99 % de las combinaciones morfológicas posibles (1986: 139). La curva primaria va siempre acompañada de su compensatoria, lo cual implica que en cada cuadro de escoliosis tendremos dos curvas con sus respectivos puntos de inflexión máximos.
La cifosis se caracteriza por presentar una giba dorsal y una acentuada lordosis lumbar asociada (Figura 2). Las deformaciones se observan con mayor frecuencia en las vértebras 5º, 6º, 7º y 8º del segmento torácico. En la columna torácica normal la curvatura cifótica se encuentra entre los 20º y los 40º; si excede de 40º es considerada patológica.
El análisis de las curvaturas, descrito sintéticamente en los apartados precedentes, demuestra que las mismas pueden aparecer en múltiples combinaciones de magnitud y localización, lo cual, en conjunto con investigaciones precedentes que corroboran la inexistencia de patrones posturales repetitivos,[2] implica la necesidad de diseñar una superficie de apoyo que sea capaz de adaptarse a una gran diversidad de demanda formal y postural.

2. "There are large variations in the postures and the deformations regardless of the differences of cushion and expected posture. The change of angles of the pelvis and thigh inclination are noticeable in those posture. The change of the contact shapes are large in the radius of curvature and the position of inflection point along the surface curve, and absolute deformation such as the sink and inclination" (Yamazaki 1992: 683) ["Hay importantes variaciones en las posturas y las deformaciones independientemente de las diferencias en las superficies de apoyo y las posturas esperadas. El cambio de ángulo de la pelvis y la inclinación de los muslos son notorios en esas posturas. También lo son el cambio de las superficies de contacto, la posición del punto de inflexión a lo largo de la curva y las deformaciones absolutas como el hundimiento y la inclinación").



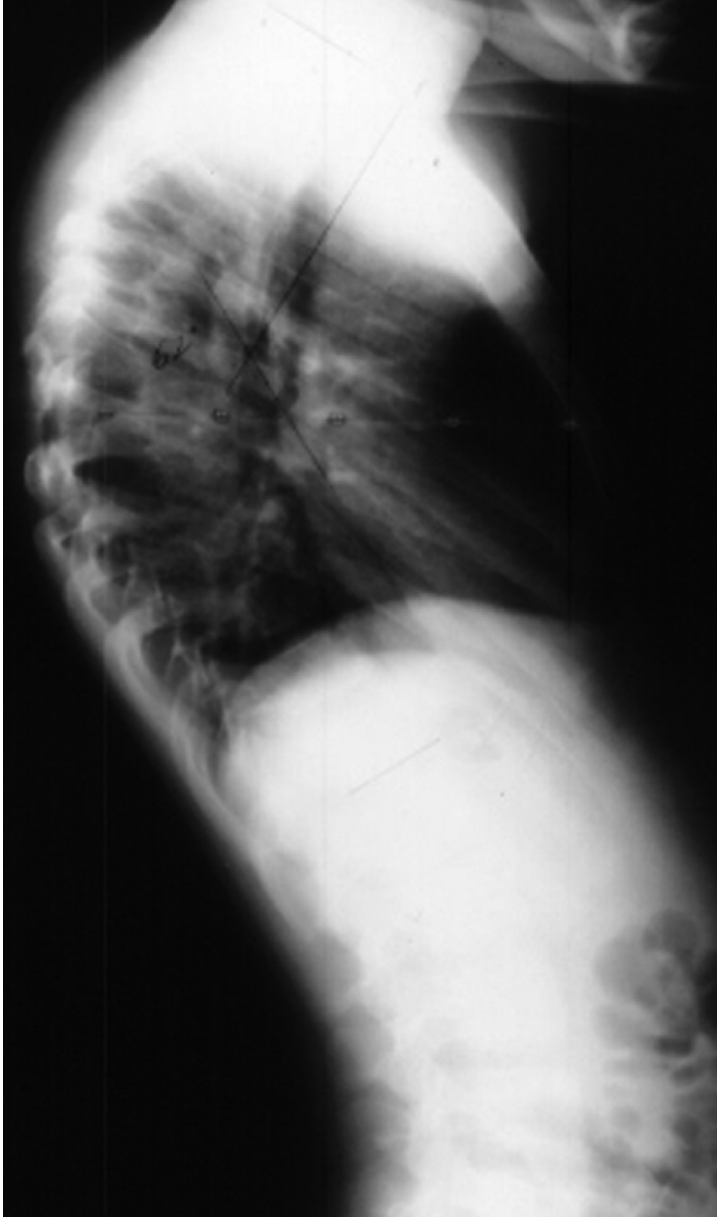


Figura 1
Escoliosis. Fuente: Turek (1982: 1682).

Figura 2
Cifosis. Fuente: www.gait.aidi.udel.edu.

Postura y confort: biomecánica de la postura sedente

DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA POSTURA

La postura correcta debe brindar un apoyo corporal estable y confortable durante períodos de tiempo prolongados. Además debe ser fisiológicamente satisfactoria y apropiada a la actividad que se realiza:

> La consideramos como una interrelación de segmentos del cuerpo humano en forma tridimensional, en relación a la tierra y sujeta a leyes mecánicas y neurofisiológicas, que en los casos de buen balance funcional producirá trabajo muscular y gasto energético mínimo. (Cibeira y Espagnol 1984: 5)

Clasificar a una postura como normal o estándar es considerado arbitrario ya que las variaciones antropométricas y de estilo postural son muy amplias.

Por otra parte, si existe malestar por alguna razón fisiológica, el cuerpo automáticamente adopta posiciones de compensación, tratando de aliviar la incomodidad. Esto significa que el hombre utiliza esquemas fisio-patológicos, que incluso en los más desalineados, son biomecánicamente lógicos y simples en su finalidad. Siempre son la respuesta más económica, confortable y eficiente que el cuerpo puede dar a un problema determinado.
En función de lo anterior, podemos decir que si la superficie de apoyo no puede adaptarse a la morfología de la columna dado que las prominencias óseas impiden el apoyo completo del torso, la falta de confort llevará a la persona a adoptar una postura tensa y desalineada que será causante de retracciones y contracciones de la musculatura. En cambio, una superficie adaptable permitirá posturas más descansadas y confortables (Figura 3).
Por lo tanto, en función de lo descrito anteriormente, podemos definir "postura" como un conjunto de relaciones de posicionamiento

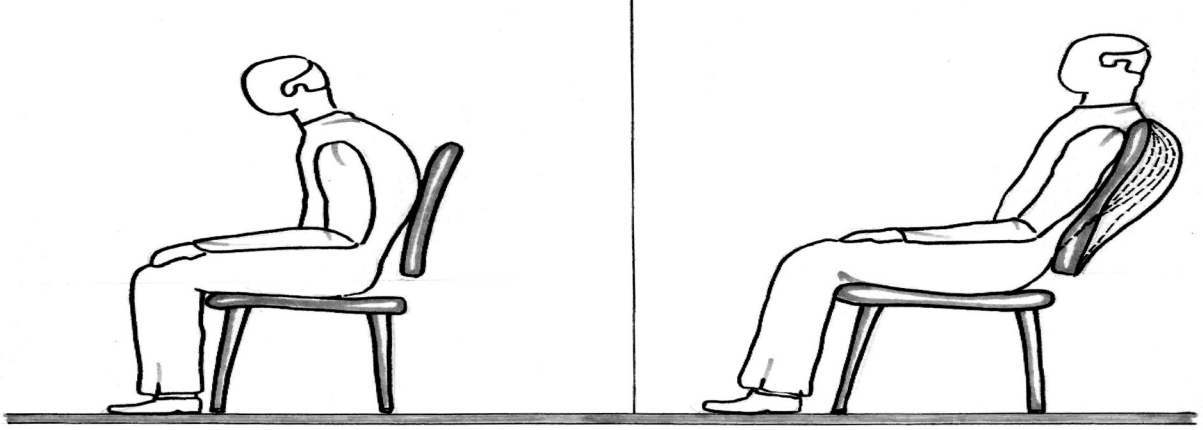


Figura 3
Relación del usuario con la superficie de apoyo.

en el espacio que se generan entre cuerpo y objeto, con el fin de producir sensación de confort y eficiencia funcional durante a la actividad que se realiza.

VARIABLES QUE DETERMINAN EL CONFORT POSTURAL

La conformación curva normal de nuestra columna vertebral requiere el control muscular constante para mantener el equilibrio. Esto se logra mediante continuas contracciones musculares mínimas llamadas "tono postural". Esto implica que, a mayor grado de curvatura, el esfuerzo muscular que se realiza para mantener el equilibrio será mayor.
La función estática que realiza el cuerpo para mantenerse sentado preferentemente no debe utilizar el músculo dado que es un material que gasta demasiada energía y que no está diseñado para trabajar en forma constante.

> El músculo sólo puede ser excepcionalmente solicitado para asumir esta función. Cuando el músculo es utilizado en la función estática la persona experimentará dolores crónicos, agotamiento importante y posteriormente atrofia. (Busquet 1994: 14)

Si el confort no surge naturalmente de la correcta relación cuerpo-objeto, se irán desarrollando esquemas posturales alternativos que, a largo plazo, pueden aumentar la deformación existente o simplemente ser ineficientes para el desarrollo de tareas cotidianas y generadores de problemas secundarios articulares o respiratorios.
Por lo tanto, una superficie que pueda brindar el adecuado apoyo sin intervención excesiva de la musculatura tónica permitiría aumentar los niveles de confort.
En función de las múltiples conformaciones que puede adoptar la columna y en conjunto con la necesidad instintiva de realizar ajustes posturales para mantener un adecuado nivel de confort, nuestra investigación se orientó hacia un concepto de superficie que fuera capaz de brindar adaptación morfológica, pero también libertad de movimiento, apareciendo un condicionante dinámico en el proyecto.
A esta altura de la investigación y con la mirada puesta en los futuros métodos de validación de las hipótesis, establecimos nuestra definición de confort en posición sedente: percepción subjetiva corporal que surge como consecuencia de la capacidad de una superficie de brindar apoyo al cuerpo de tal manera que se produzcan los siguientes efectos:

> Adaptación de la superficie a la forma corporal.
> Adaptación dinámica a los movimientos de cambio postural, principalmente a la rotación en el plano transversal.
> Distribución de presiones superficiales uniforme y sin presencia de concentraciones puntuales elevadas.
> Menor actividad muscular en la zona de apoyo y, por consiguiente, mayor relajación corporal.

Estos efectos constituyen las variables o parámetros de nuestra definición de confort y, en base a los mismos, se realizaron las pruebas de validación de las hipótesis.

BENEFICIOS FISIOLÓGICOS DE LA POSTURA DINÁMICA

Los dos aspectos fundamentales reconocidos por la disciplina médica asociados a la postura son las presiones superficiales y la función respiratoria.

a) Presiones superficiales
Pequeños movimientos instintivos y frecuentes de ajuste postural intentan aliviar la presión y alternar las zonas que reciben peso modificando la distribución de presiones en las superficies de apoyo. Por lo tanto, el modelo de superficie dinámica propuesto procura brindar un soporte eficiente al cuerpo adaptándose a su morfología y permitir

libertad de movimiento para los continuos cambios posturales con el fin mencionado de distribuir las presiones en forma uniforme. De esta forma, se logra la correcta oxigenación celular, la protección del tejido que está en contacto con las superficies de apoyo y un adecuado nivel de confort.

b) Función respiratoria
La postura incorrecta puede producir efectos de compresión de la cavidad torácica y consecuentemente deficiencias respiratorias:

> Tiende a prevalecer la respiración abdominal y la respiración torácica puede desaparecer por completo dando lugar a una menor calidad de renovación del aire y a una menor disponibilidad de reservas de oxígeno. (Steindler 1964: 224)

Síntesis del análisis del problema

La falta de confort se produce por la existencia de morfologías corporales con cifosis o escoliosis que no pueden adaptarse a los asientos disponibles en el mercado. Estas morfologías poseen múltiples combinaciones de tipo, grado y localización.
Siendo la postura una función que procura la economía, debe poder ser sostenida por largos periodos sin cansancio. A la vez, no tiene patrones repetitivos exactos y necesita el continuo juego de ajuste postural con el fin de mantener el confort y regular las presiones superficiales en las zonas de contacto con la superficie de apoyo.
Por lo tanto, la prioridad de nuestro proyecto es el desarrollo de superficies con capacidad de adaptación a múltiples morfologías, y que puedan acompañar al cuerpo en los procesos de ajuste postural, otorgando libertad de movimiento y favoreciendo la sensación de confort.

Aporte original de la investigación

Desarrollar un modelo de superficie dinámica ergonómica que sea capaz de adaptarse a morfologías corporales normales y patológicas de columna vertebral con presencia de cifosis y escoliosis brindando libertad de movimiento durante los procesos de cambio postural.

Planteo de las hipótesis

Hipótesis principal

Una superficie ergonómica que permita la adaptación a la forma corporal y a los movimientos de ajuste postural puede favorecer el confort en la postura sedente particularmente en personas con configuración patológica de la columna vertebral.

Hipótesis auxiliar

La menor actividad de la musculatura superficial de la zona de apoyo y la distribución de presiones corporales en una superficie mayor, evitando la concentración elevada en una zona puntual, pueden asimismo incrementar la percepción subjetiva de confort.

Objetivos

Los objetivos primordiales del proyecto fueron:

> Incrementar la producción de confort en la postura sedente en personas con configuración patológica de la columna vertebral respecto del brindado por un asiento estándar existente en el mercado.

A medida que se fueron probando alternativas proyectuales se concentró la atención en la generación de un dispositivo de aplicación universal que fuera útil en múltiples aplicaciones del diseño de asientos.
La producción de confort debía verificarse por medio de la capacidad de adaptación de la superficie a múltiples morfologías y a los movimientos de cambio postural.
Adicionalmente nos propusimos comprobar que la superficie desarrollada podía generar un incremento del confort postural si se lograba distribuir las presiones superficiales de manera más uniforme y si la actividad muscular en la zona de apoyo era menor en comparación a los resultados obtenidos en un asiento estándar.

Base empírica y antecedentes existentes sobre el tema

En nuestra tesis esta base empírica estuvo conformada por el análisis de estudios referidos al confort y por una serie de analogías de diseño funcional realizadas a partir de la observación de la columna vertebral en sus estados normal y patológico.
Como antecedentes, se estudiaron productos y patentes de invención que tuvieran aspectos funcionales en común con la propuesta de diseño.

Investigaciones desarrolladas por otros autores

Se analizaron los desarrollos de Iwasaki, Matuoka y Yamanoi en lo referente a estudios sobre los niveles de confort en las distintas posturas sedentes (1988: 1403-1408), y los estudios de Yamasaki en lo que respecta a evaluaciones biomecánicas sobre el confort de asientos utilizados en la industria automotriz (1992: 677- 692).
Uno de los resultados más interesantes en estos estudios es que se ha comprobado que no existen parámetros posturales repetitivos y totalmente predecibles.
Dado que las evaluaciones mencionadas se han realizado únicamente en personas con configuraciones normales de columna, podemos intuir un amplio campo de investigación en morfologías que no responden a dichos patrones.

Analogías de diseño: Análisis de la columna vertebral como modelo funcional

Nuestro modelo de superficie adaptativa está basado en la observación de aspectos biomecánicos de la columna vertebral.
Superados las primeros borradores de ideas, nos pareció apropiado que el modelo de superficie tuviera la capacidad de reproducir los movimientos naturales de las vértebras y de la columna en su conjunto. De esta forma, la propuesta proyectual se orientaba a ser una analogía biónica del comportamiento postural del cuerpo.
El movimiento de mayor interés para nuestra investigación fue la rotación en el plano transversal, dado que busca cambiar en forma frecuente los puntos de contacto con la superficie de apoyo y, a la vez, se trata de un movimiento que es dificultado por la gran mayoría de los respaldos convencionales, los cuales están diseñados en base a un marco rígido perimetral.
Los cambios de posición son necesarios para equilibrar constantemente variables fisiológicas como las presiones superficiales y, como bien expresa Busquet, también para equilibrar las presiones que se producen en el interior del núcleo intervertebral: “Por esa razón, la persona con problemas discales crónicos se siente mejor cuando puede realizar algunos

Figura 4
Silla Pk 25.

Figura 5
Silla AeronChair.

Figura 6
Modelización de una cifosis de 60°.

movimientos y cambios de posición ya que el disco prefiere las variaciones de presión" (1994: 63-64).
Estos aspectos biomecánicos fueron contemplados en el proceso de diseño con el objetivo de arribar a un modelo de superficie, que diera una respuesta ergonómica eficiente.

Antecedentes existentes en el tema

Con el fin de tener un panorama del mercado actual en lo referente a superficies de apoyo para la población elegida, se realizó un estudio de antecedentes organizado en dos áreas: productos y patentes de invención.

PRODUCTOS

Pudimos observar que el universo de productos relacionados con nuestra investigación podía clasificarse básicamente en dos grupos:

a) Los orientados específicamente a personas con problemas se columna resueltos con un concepto de trama textil flexible o bien con un volumen de espuma elástica.
b) Los productos orientados al público en general resueltos también con un concepto de malla flexible.
   Como ejemplos de esta tipología se pueden citar la silla PK 25 (Figura 4) de Poul Kjaerholm (Dinamarca 1965) y la AeronChair (Figura 5) creada por Chadwick y Stumpf (EE.UU. 1992).
c) Productos que procuran resolver el problema a través de un accesorio para colocar sobre un respaldo estándar. Dentro de este grupo, existe una gran variedad de propuestas en general materializadas con distintas variaciones de espuma de poliuretano, o bien conteniendo fluidos como aire, agua o gel.

Dado que todos los productos estudiados poseen un respaldo diseñado con un marco rígido, el panorama descripto iba confirmando nuestra idea de que no existían propuestas que pudieran brindar capacidad de adaptación dinámica durante los cambios de posición, ya que esos movimientos no pueden ser realizados por superficies vinculadas a un marco rígido perimetral.

PATENTES DE INVENCIÓN

Complementariamente, se desarrolló una investigación de las ideas patentadas en los Estados Unidos desde 1950 hasta la actualidad con el fin de analizar los diseños existentes y evaluar la potencialidad innovadora de nuestra propuesta.
El análisis de las patentes de invención demuestra que cuando se procura una adaptación a la morfología del usuario el aspecto en común que tienen esas superficies es que están conformadas por elementos lineales flexibles.
Los ejemplos analizados resuelven la superficie con cintas metálicas, plásticas o telas resilientes, pero siempre centrando la atención en la flexibilidad del material y su comportamiento ante las variaciones de peso.

Metodología de investigación proyectual para la obtención de los prototipos experimentales

Simulación informática del problema real

Como primera tarea visual se desarrollaron modelos informáticos de figuras antropométricas con cifosis y escoliosis de grado leve, moderado y severo. Esto permitió ponernos en contacto con la magnitud del problema.
Como ejemplo ilustrativo de esta etapa, en la

que se realizaron más de 50 modelizaciones representativas de morfologías con cifosis y escoliosis, mostramos en la figura 6 una imagen de una cifosis de 60° de incurvación en la zona dorsal.

Análisis comparativo de las curvaturas analizadas con la superficie de un respaldo genérico. Caso aplicado: cifosis de 60°

Los modelos antropométricos fueron superpuestos a la forma de un respaldo genérico comprobando la imposibilidad de adaptación ergonómica entre este tipo de superficie y una columna con exceso de curvatura, ya que el factor de adaptación del respaldo a la curvatura es insuficiente. Esto derivó en las siguientes observaciones:

> Las posturas son progresivamente más desalineadas, dado que el cuerpo buscará la posición menos incómoda utilizando contracciones musculares excesivas y cambios en la línea de descarga del peso.

> La falta de apoyo en zonas de la espalda y el consiguiente exceso de presión sobre los tejidos que recubren las salientes óseas producirá sensación de entumecimiento e incomodidad general.

> Los músculos de dicha zona estarán en contracción tónica permanente, aumentando la fatiga y provocando dolor (Figura 7).

Figura 7
Incompatibilidad entre la forma corporal con cifosis de 60° y la superficie de apoyo.

Análisis preliminares y búsqueda de alternativas

Los primeros desarrollos de diseño estuvieron orientados hacia un concepto laminar del prototipo. Con el objetivo de otorgarle capacidad de adaptación morfológica se analizaron las siguientes opciones:

> Una lámina flexible con perforaciones de distintos diámetros.

> Un sistema de tensores.

> Incorporación de accesorios inflables.

> Superposición de telas de diferentes resistencias.

Entre las opciones anteriormente descriptas, se eligió avanzar con un sistema de tensores con ajuste de posición individual, lo que posibilitaba formar una trama variable. Análisis posteriores revelaron que esta variabilidad de la trama daría como resultado un producto costoso y muy complejo.

Proyecto y desarrollo del prototipo experimental

La superficie se proyectó en base a una serie de alas longitudinales similares a las costillas del tórax vinculadas a una columna central a través de un componente flexible que les permitiría un comportamiento dinámico, favoreciendo la disociación de las cinturas escapular y pelviana y la capacidad de adaptación en los cambios posturales. (Figuras 8a y 8b).

Los dispositivos flexibles que vinculan las alas con la columna central procuraron reproducir el funcionamiento de una vértebra formando en conjunto con las alas una analogía funcional de la columna vertebral.

Fueron analizados diferentes componentes con el objetivo de optimizar la capacidad de adaptación morfológica: varillas flexibles de pultrusión[3] con elementos inflables y placas de espuma con cortes longitudinales y transversales sobre almohadillas de gel.

Elegimos una combinación de espuma y varillas flexibles por que brindaban un mejor comportamiento a flexión.

El espacio libre existente entre la curva de las alas y el bloque de espuma que contiene las varillas ha sido proyectado con el fin de absorber la flexión provocada por el peso del torso y la curvatura morfológica del raquis. Asimismo se estudiaron distintas formas de vinculación entre la columna central, las *vértebras* flexibles y las alas del sistema, procurando generar un concepto de diseño que brindara los objetivos buscados con adecuado comportamiento funcional y economía de medios.

El estudio de esta vinculación fue el punto de partida de nuestra propuesta de dispositivo conector flexible, la cual se detalla más adelante. La movilidad independiente que permiten las alas constituye uno de los principales aspectos innovativos del concepto de diseño.

3. Las varillas de pultrusión están fabricadas en base a fibra de vidrio y son sumamente flexibles y resistentes. En diámetros mayores se las utiliza en las estructuras de las velas de wind-surf.

Figura 8a. y 8b.
Prototipo experimental.

Las primeras pruebas funcionales demostraron una muy buena adaptación morfológica apoyando el peso del cuerpo de manera normal. Si se incrementaba el empuje de la espalda sobre la superficie de manera intencional, simulando mayor peso, la adaptabilidad continuaba siendo la esperada. El asiento y la base de apoyo pertenecen a una silla estándar de oficina sobre la cual se realizó el montaje del prototipo de respaldo y de los apoyabrazos.

Verificación de las hipótesis

En esta instancia procuramos probar que el concepto ergonómico materializado en el prototipo funcional verifica lo propuesto en las hipótesis. Nuestra tarea consistió en comprobar que el prototipo brindaba mayor confort respecto del ofrecido por un respaldo estándar. Por consiguiente la validación de la producción de confort fue realizada en base a tres pruebas funcionales (las cuales a la vez conforman nuestra definición de confort):

> Adaptación a la forma corporal y a los cambios de posición mediante el registro de series fotográficas.
> Registro de distribución de presiones superficiales a través de improntas gráficas.
> Estudio electromiográfico.

Para las series fotográficas del estudio de adaptación morfológica, se seleccionaron personas con configuración normal de columna, escoliosis dorsal moderada y cifosis dorsal aguda.
Para el registro de improntas de presiones superficiales y para los estudios electromiográficos, se trabajó con una persona con cifosis de 55°, ya que consideramos que esta morfología es la más relevante y exigente para la verificación de las hipótesis al presentar un tipo de curva que genera la máxima saliente ósea dentro de las morfologías analizadas.

Prueba funcional 1: Adaptación a la forma corporal y a los cambios de posición

Se realizó la comparación visual del comportamiento adaptativo de la superficie mediante fotografías en vista lateral y posterior en tres tipos de usuarios: con configuración normal de columna vertebral, con escoliosis moderada y con cifosis de 55º utilizando el prototipo funcional y el asiento estándar de referencia. Estas pruebas evaluaron dos instancias: apoyo convencional de la espalda y movimientos de rotación transversal semejantes a los realizados durante los cambios de posición. Este experimento nos permitió verificar que la superficie ergonómica es capaz de adaptar-

se a las morfologías corporales analizadas y puede acompañar al cuerpo en los procesos de cambio posicional, particularmente en las rotaciones de torso, lo que nos permite inferir un buen nivel de confort. La adaptabilidad es favorecida por que el cuerpo de espuma de cada aleta en conjunto con las varillas de pultrusión internas experimenta una deformación por flexión al ser solicitado por el peso del tronco del usuario. Por otra parte, el movimiento del dispositivo flexible le permite a las aletas desarrollar rotaciones según dos planos, uno paralelo al piso y otro paralelo al perfil del asiento. Todos los movimientos descriptos se desarrollan al mismo tiempo, de acuerdo al requerimiento dinámico del usuario lo que favorece la adaptabilidad a la forma corporal y a los ajustes posturales incrementando por consiguiente la sensación de confort.

Comparando los movimientos analizados en nuestro prototipo con las prestaciones funcionales de las patentes estudiadas, observamos que las rotaciones que experimentan las alas ofrecen cualidades dinámicas que no poseen los conceptos proyectuales que emanan de las patentes mencionadas.

Figura 9
Adaptación dinámica a la forma corporal.

Prueba funcional 2: Registro de presiones superficiales a través de improntas gráficas

El registro de las presiones superficiales que se producen en las zonas de contacto permite disponer de un parámetro que estudia cómo es el apoyo de la espalda del usuario sobre las superficies analizadas.

Por lo tanto, las improntas o *manchas* obtenidas representan un valor cualitativo de la producción de confort.

Se utilizó un conjunto de almohadilla entintada (2) y papel (1) dentro de un envoltorio de polietileno. Las dimensiones de esta plantilla fueron 30 cm por 40 cm. El usuario se apoyó durante 20 segundos en la superficie de cada respaldo (3). El esquema del experimento se grafica en la Figura 10.

Se analizaron el tamaño, la ubicación, la intensidad y la concentración de las improntas cuando los usuarios utilizaban el prototipo y el asiento estándar tomado como referencia comparativa.

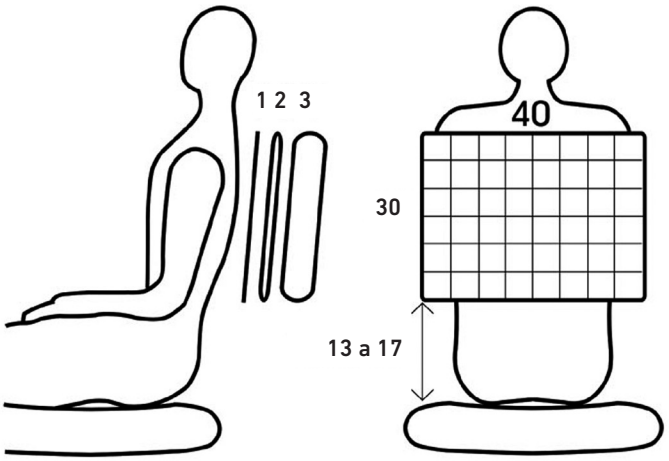
Se pudo verificar que, en nuestro prototipo, las presiones superficiales se distribuyen en una zona más amplia y con menor concentración de presiones puntuales respecto de los resultados logrados en el asiento de referencia. Observamos en la Figura 11 que cuando el usuario con cifosis utiliza el respaldo de comparación la zona de apoyo queda evidenciada por una mancha que no supera los 5 cm por 5 cm. En cambio, cuando utiliza el prototipo, la mancha es mucho mayor, comprobándose que el apoyo se distribuye de una manera más pareja (Figura 12).

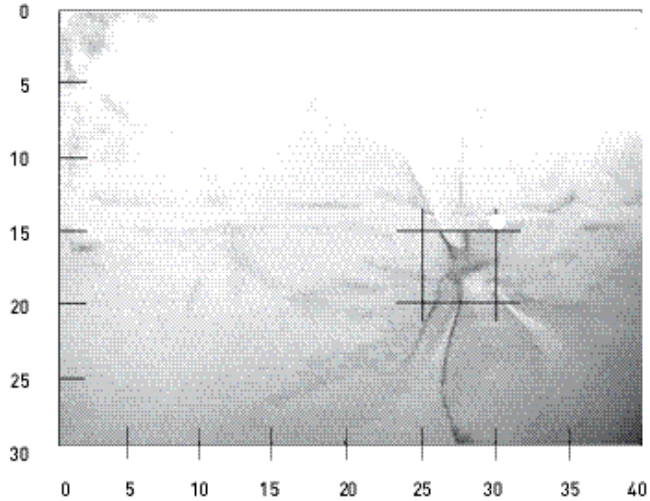
Prueba funcional 3: Estudio electromiográfico

Como citamos en nuestras hipótesis, la actividad de la musculatura en la zona de contacto es uno de los parámetros con los que se puede mensurar objetivamente la percepción de confort.

Recordemos también que hemos definido "confort" como una percepción subjetiva, generada por la capacidad que tiene la superficie para producir una serie de efectos, entre los cuales consideramos a la menor actividad muscular como un indicador de relajación corporal y confort.

La electromiografía es un tipo de estudio que permite obtener un registro del nivel de actividad muscular. Dicho estudio se realizó en el





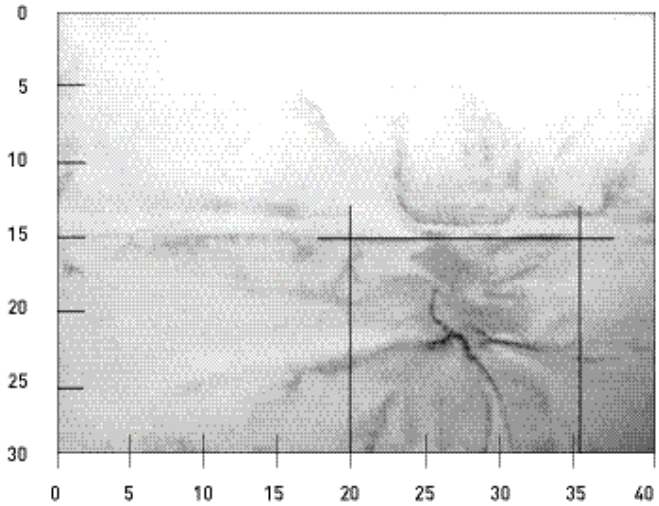


Figura 10
Medición de presiones superficiales.

Figura 11
Impronta cuando se realiza el apoyo sobre el respaldo de referencia.

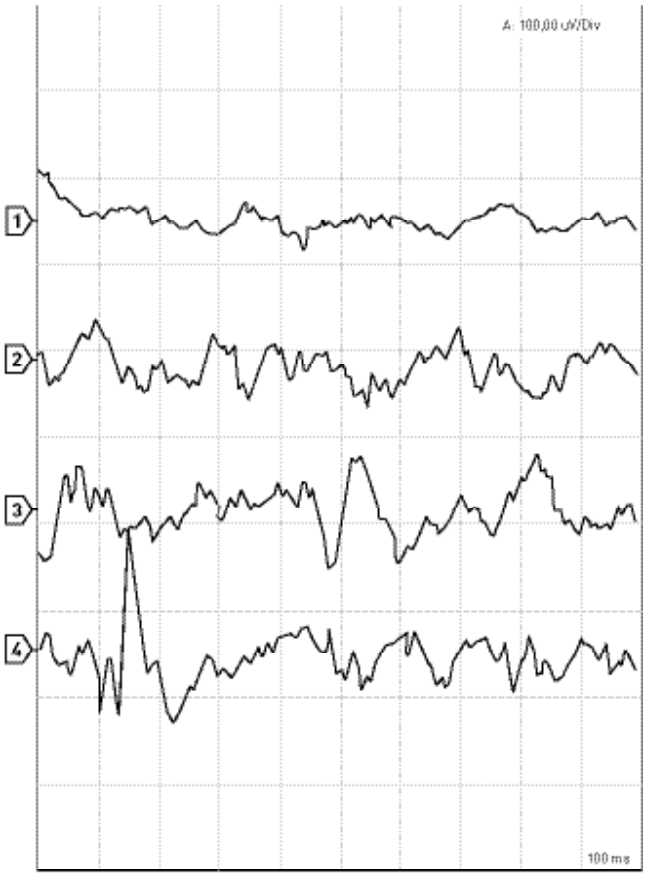
Figura 12
Impronta cuando se realiza el apoyo sobre el prototipo.

laboratorio de Neuro-fisiología del Hospital Enrique Tornú.
La medición de la actividad muscular consistió en la aplicación de dos electrodos de superficie sobre la musculatura paravertebral superficial correspondiente a la vértebra cervical 7 de un paciente con cifosis de 55°, con el fin de comparar los resultados que surgían cuando se utilizaba el prototipo y un asiento estándar tomado como referencia.

Como asiento de referencia comparativa, en este experimento, se eligió una silla laminar de superficie curva inyectada en material plástico.
El estudio de la amplitud y frecuencia de onda permite registrar cuantitativamente la actividad de la musculatura superficial, representando el nivel de relajación o contracción de la zona y, por lo tanto, sirve como indicador de confort en la postura sedente.
Una curva más plana con menor amplitud de onda o con menor frecuencia, indica menor actividad y por consiguiente mayor relajación de las fibras musculares. El nivel de actividad muscular es medido en microvoltios (uv) en la escala vertical de la grilla, la cual está conformada por 10 divisiones equivalentes a 100 uV cada una. La escala horizontal mide el tiempo mediante 10 divisiones equivalentes a 10 milisegundos por división. Por consiguiente, cada nivel representa una duración de 100 milisegundos, siendo la duración de todo el estudio de 0,4 segundos; esta corta duración del evento mensurado constituyó una de las limitaciones del estudio.
Los valores que se observan en la Figura 13 muestran los niveles de contracción muscular cuando el paciente utiliza el asiento de referencia.
En el gráfico de la Figura 14, correspondiente a la prueba realizada con el prototipo funcional, observamos que la curva tiene menor amplitud de onda que cuando se usa el asiento de referencia, lo que revela que durante la realización del estudio con el prototipo se produce una menor contracción muscular, lo que nos permite inferir un incremento de la sensación de confort, sin dejar de tener en cuenta las limitaciones del estudio mencionadas anteriormente.
Si bien los resultados de este estudio han sido alentadores, cabe agregar también que para considerarlo un indicador firme de la validación de nuestra hipótesis deberían realizarse pruebas adicionales en más pacientes con el fin de hacer un apropiado estudio estadístico.

Diseño del dispositivo conector flexible y aplicaciones funcionales

Como decíamos en la introducción, este trabajo procura demostrar que la capacidad de adaptación dinámica a la forma es la idea que contribuye a solucionar el problema planteado y, a partir de la cual, podrían diseñarse otros equipamientos destinados a brindar confort en la postura sedente.
Dado que este aspecto dinámico se logra en base a la capacidad de movimiento de los componentes del respaldo, se realizó un



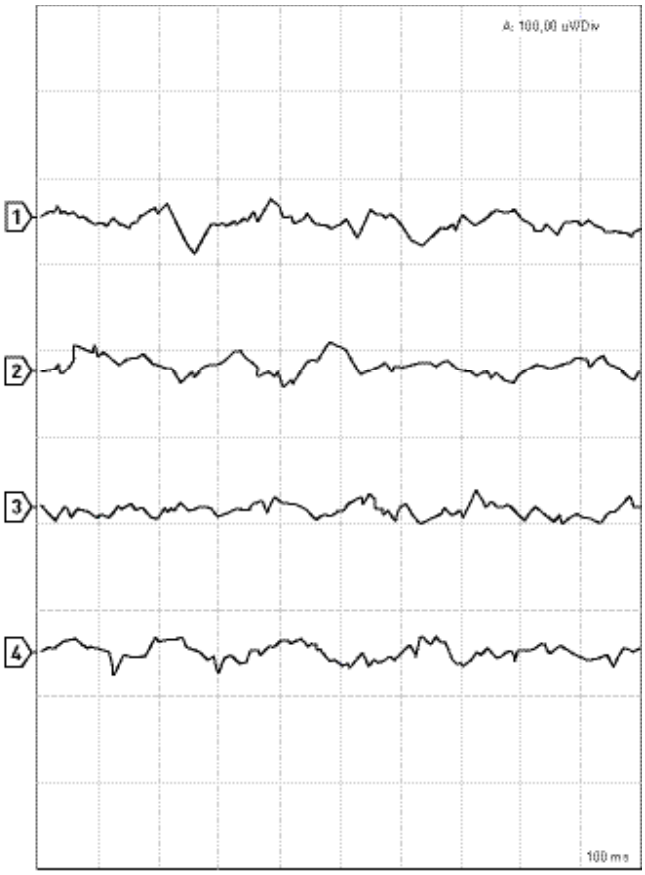


Figura 13
Electromiografía de superficie. Paciente con cifosis dorsal utilizando un asiento convencional de material plástico.

Figura 14
Electromiografía de superficie. Paciente con cifosis dorsal utilizando el prototipo de investigación.

proceso de diseño complementario con el fin de generar una propuesta de dispositivo conector que permitiera hacer extensivo el concepto a otras tipologías de asientos.
El dispositivo propuesto consiste en una pieza elipsoide flexible con aletas laterales que puede diseñarse con diferentes alternativas de perforaciones y tornillos (Figura 15).
El diseño está inspirado en las características formales y funcionales de una vértebra humana con el objetivo de otorgar al respaldo, con el cual se vincula, la capacidad de movimiento y adaptabilidad a la forma corporal, que analizamos y corroboramos con nuestro prototipo funcional.
El material propuesto para la pieza puede ser caucho siliconado, caucho sintético o silicona, los cuales podrían tener incorporación de diferentes colores de acuerdo al criterio estético del producto. La dureza Shore "A" recomendada para otorgar una adecuada flexibilidad es de 40 (la dureza Shore mide la deformación bajo carga).
Como continuidad de la investigación desarrollada, se podría estudiar la aplicación de este dispositivo en distintas tipologías de equipamiento, desde sillas y sillones domésticos hasta sillas de ruedas y puestos de comando (Figuras 16, 17 y 18).

Conclusiones

1. Con los resultados obtenidos a partir de los métodos de corroboración, hemos podido verificar que la superficie ergonómica se adapta a distintas configuraciones corporales, incluidas aquellas afectadas por cifosis y escoliosis.
De esta manera, lo expresado en la hipótesis principal referente a la capacidad de la superficie de favorecer el confort mediante la adaptación a la forma corporal y a los movimientos de ajuste postural, ha sido corroborado por medio de series fotográficas.
Complementariamente, tal como enunciáramos en nuestra hipótesis auxiliar, la menor actividad de la musculatura superficial en la zona de apoyo y la distribución de presiones corporales en una superficie mayor, parámetros verificados a través de los electromiogramas y de las improntas de tinta, pueden asimismo significar que se incrementa la percepción subjetiva de confort.
Las características expresadas anteriormente pueden generar efectos benéficos como ser una mayor oxigenación de los tejidos en contacto con la superficie de apoyo y la prevención de compensaciones osteo-musculares causantes de tensiones y contracturas.

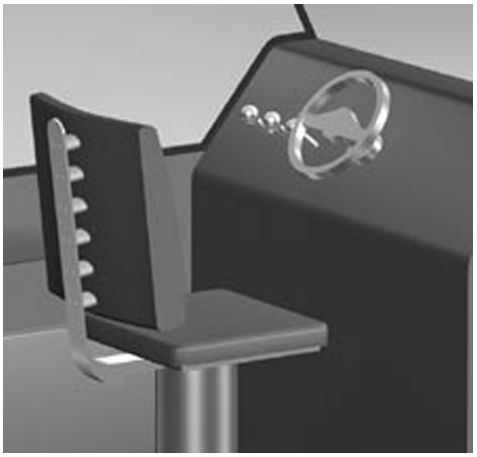


Figura 15
Dispositivo conector.

Figura 16,17 y 18
Aplicaciones funcionales del dispositivo conector.

2. A través de la aplicación de la metodología de diseño empleada se pretende brindar a la comunidad de diseñadores un conjunto de bases operativas para el desarrollo de productos orientados a personas con patologías de la columna vertebral.
El estudio detallado del problema real nos permitió definir los requerimientos que pueden facilitar la eficiencia funcional de una superficie de apoyo para personas con cifosis y escoliosis. Estos requerimientos fueron la adaptabilidad a la forma y al movimiento, la distribución uniforme de presiones y una menor actividad muscular en la zona de apoyo.
La formulación de hipótesis orientadas a lograr una solución concreta para el problema real y su correspondiente verificación mediante pruebas experimentales han sido el aporte fundamental del método de investigación tecnológica.
Una de las estrategias principales en el marco de esta metodología ha sido considerar los movimientos de la columna vertebral como un modelo dinámico que pudiera ser reproducido por los movimientos del prototipo funcional.
3. Esta secuencia de tareas nos ha permitido arribar al desarrollo conceptual de un dispositivo conector flexible.
Este componente, concebido para ser aplicado en el proyecto de respaldos de diferente naturaleza, permitiría alcanzar los beneficios y prestaciones funcionales estudiados dejando abierto el camino a un panorama muy amplio de investigación.

4. Finalmente, si bien el aspecto del control postural no fue planteado como objetivo en el marco de nuestro trabajo, cabe destacar que algunas patologías que incluyen morfologías corporales con cifosis y escoliosis implican un cierto grado de dificultad para el control de la postura del tronco.
Por lo tanto, puede plantearse como un posible objetivo en la continuidad de la investigación, lograr que las superficies ergonómicas orientadas a personas con patología de columna brinden adaptabilidad a la forma y posibilidad de control postural ■

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BREYER, Gastón, Roberto DOBERTI y Horacio PANDO. 2000. *Bases conceptuales del diseño* (Buenos Aires: Ediciones de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo).

BUNGE, Mario. 1991. *La ciencia, su modelo y su filosofía* (Buenos Aires: Siglo Veinte).

BUSQUET, Leopold. 1994. *Les chaines musculaires*, t. II (París: Frison-Roche). Traducción española por Camé Geronés, Las cadenas musculares, t. II (Barcelona: Paidotribo).

CIBEIRA, José y Roberto ESPAGNOL. 1984. *Dolor lumbar, clínica y cirugía* (Buenos Aires: El Ateneo).

COSENTINO, Rodolfo. 1986. *Raquis, semiología con consideraciones clínicas y terapéuticas* (Buenos Aires: El Ateneo).

GARCIA CORDOBA, Fernando. 2007. *La investigación tecnológica. Investigar, idear e innovar en ingenierías y ciencias sociales* (México, D.F.: Limusa).

IWASAKI, Satoshi, Yuzuru MATUOKA y Toshiro YAMANOI. 1988. "Objective evaluation of seating comfort", *Journal of the Society of Automotive Engineers in Japan* 42 (11), 1403-1408.

STEINDLER, Arthur. 1964. *Kinesiology of the human body under normal and pathological conditions* (Springfield: Charles C. Thomas Publisher).

YAMAZAKI, Nobutoshi. 1992. "Analysis of sitting comfortability of driver´s seat by contact shape", *Ergonomics* 35 (6), 677-692.

TUREK, Samuel. 1982. *Orthopaedics, principles and their applications* (Philadelphia: J. B. Lippincott Company). Traducción española por Alberto Jarnet Casas, Ortopedia, principios y aplicaciones, t.II (Barcelona, Salvat Editores S.A.).

RECIBIDO: 30 septiembre 2013.
ACEPTADO: 30 abril 2014.

CURRÍCULUM

DAMIÁN BARBIROTTO es arquitecto egresado de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires (FADU-UBA) y doctor en la especialidad diseño de la misma casa de estudios. Obtuvo el premio CPAU al mejor promedio de graduados en el año 1995. Actualmente se desempeña como docente en la materia Análisis de Producto y en el posgrado de Biodiseño y producto mecatrónico (BIME). Asimismo es director de proyectos de investigación de la Secretaría de Investigación de la FADU-UBA y de proyectos UBACYT. Su área de investigación está centrada en el diseño de espacios y equipamientos para personas con discapacidad.
Ha publicado artículos referentes a la temática en revistas y periódicos nacionales. Es becario del Consejo Profesional de Arquitectura y Urbanismo (CPAU).

Centro de Investigación en Diseño Industrial, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Universidad de Buenos Aires |
Pabellón III, 4° Piso, Ciudad Universitaria
CP 1428 EGA, Buenos Aires, Argentina,

Tel.:(011) 4789 6344
E-mail: damianbarbirotto@hotmail.com