

Artículo original

“Evaluación de la usabilidad y utilidad de un software desarrollado, para analizar presiones generadas en asientos de silla de ruedas, durante la propulsión”

"Assessment of usability and utility of software for analyze dynamic interface pressure, during wheelchair propulsion"

José Alberto Del Valle- Benitez¹, Diana Alicia Gayol- Mérida^{2*}, Rafael de Jesús Ramírez -Solano³, Daniel Mateo Lara -López⁴, Ivett Quiñones -Uriostegui⁵

1 Licenciatura en Ingeniería en Computación-Biomédica, Facultad de Ingeniería UNAM

2* Laboratorio de Ingeniería de Rehabilitación, Subdirección de Investigación Tecnológica, Instituto Nacional de Rehabilitación Luis Guillermo Ibarra Ibarra.

3 Departamento de Ingenierías, Universidad del Valle de México, Campus Coyoacán.

4 Licenciatura en Ingeniería Biomédica, Escuela de Ingeniería de Antioquia y Universidad CES, Medellín, Colombia.

5 Laboratorio de Análisis de Movimiento, Subdirección de Investigación Tecnológica, Instituto Nacional de Rehabilitación Luis Guillermo Ibarra Ibarra.

Dirección para correspondencia

Diana Alicia Gayol Mérida Laboratorio de Ingeniería de Rehabilitación, Subdirección de Investigación Tecnológica, Instituto Nacional de Rehabilitación Luis Guillermo Ibarra Ibarra, Torre de Investigación 6to Piso. Av. México-Xochimilco no. 289 Col. Arenal de Guadalupe, Del. Tlalpan, Cd. De México C.P 14389.

Tel. (55)599-1000 ext.19705 e-mail: dgayolmerida@gmail.com Calzada México Xochimilco No. 289 Col. Arenal de Guadalupe, C.P.14389, Ciudad de México.

Recibido: 17 de Julio de 2017

Aceptado: 29 de Noviembre 2017

Conflicto de intereses: Se declara que no existe ningún tipo de conflicto de intereses con ninguno de los autores.

Palabras clave:

Asientos para sillas de ruedas; Medición de presión durante la Propulsión; Evaluación de la Usabilidad; Utilidad.

Key words:

Wheelchair Cushion; Dynamic Interface Pressure Measurement; Usability and Utility Assessment.

Resumen:

Las úlceras por presión, son una de las principales complicaciones en lesionados medulares. Una estrategia de prevención, es el uso de asientos para sillas de ruedas que ayuden a distribuir presiones; para su recomendación y ajuste se evalúa la presión generada entre el asiento y su usuario. La evaluación de estas presiones comúnmente se analiza sin que el usuario realice movimiento. La literatura señala la importancia de evaluar las presiones en estos asientos mientras se realizan actividades de la vida diaria, como la propulsión. Para evaluar las presiones que se generan en un asiento durante la propulsión, se desarrolló un software llamado SAPD©. Este trabajo presenta la evaluación de la usabilidad y utilidad del SAPD©. Tres expertos evaluaron la usabilidad del SAPD© aplicando el Método Heurístico, y la utilidad fue evaluada en ambiente de laboratorio con cinco pacientes usuarios de sillas de ruedas. Se encontró que el SAPD© tiene un buen desempeño y es útil, para evaluar las presiones en los asientos en condiciones dinámicas, y puede ser usado como herramienta para la recomendación de asientos para sillas de ruedas.

Abstract:

Pressure ulcers, are common complication for people with spinal cord injury. One strategy to prevent them is to recommend wheelchair cushions for distributing interface pressure, in order to recommend and fit wheelchair cushions it have to assess the interface pressure between the user and their cushions. However this assessment is carried out in statics conditions. Literature highlights, the importance of assessing the pressure in wheelchair cushions, when the user is performing activities of daily living, especially during wheelchair propulsion. In order to assess the performance of wheelchair cushion during wheelchair propulsion, it developed software SAPD©. This work shows SAPD© usability assessment, the Heuristic Method was applied for three experts. The utility was tested assessing the dynamics interface pressure of five patients' wheelchair users. SAPD© has good performance and is useful to assess dynamics interface pressure, and it can use as tool for recommendation a wheelchair cushion.

Introducción

Es conocido que una complicación secundaria a la lesión medular, son las úlceras por presión. Bogie et al.¹, han reportado una prevalencia de hasta un 47% en personas con lesión medular dependientes de silla de ruedas; pudiendo pasar entre 8h y 16 h en ella, para realizar sus actividades de la vida diaria (AVD)²; por lo que se hace necesario brindar asientos para sillas de ruedas, que ayuden a redistribuir la presión, con el fin de apoyar a prevenir la aparición de úlceras por presión. Para la recomendación, ajustes, diseño y pruebas de los asientos para sillas de ruedas, se miden las presiones que existen entre estos y su usuario; estas mediciones por lo general son estáticas³, es decir sin que el paciente realice movimiento en su silla de ruedas mientras se realiza la medición; el tiempo de medición puede variar entre 30 min a 8 min, siendo este último periodo de tiempo, el más extendido en la práctica clínica.³⁻⁴

Por otro lado, durante la realización de las AVD; la distribución de peso del sujeto en su sillas de ruedas cambia, ocasionando que las presiones cambien, derivado de que el usuario asume diferentes posturas al realizar sus AVD.⁵ Kernozek y Lewin⁶, proponen que la medición de las presiones se realice en condiciones dinámicas, esto es cuando el sujeto realiza movimientos en su asiento para silla de ruedas, con el fin de evaluar el desempeño del asiento durante las AVD; además proponen que la medición de las presiones estáticas debe considerarse como una medición basal, mientras la medición dinámica, puede proveer información sobre el comportamiento del asiento durante las AVD.

En relación con el comportamiento de presiones dinámicas, en particular con las generadas durante la propulsión de la silla de ruedas, Kernozek y Lewin⁶, Andreoni et al.⁷, reportaron diferencias con las mediciones en condiciones estáticas, siendo más elevados los picos de presión durante la propulsión; Dabnichik y Tarkan⁸, reportaron que durante la propulsión, las presiones son dependientes de la velocidad, ya que entre mayor sea la velocidad de propulsión, mayor es la componente vertical de la fuerza de compresión, lo que provoca un aumento en la presión registrada entre el asiento de la silla de ruedas y el sujeto; por su parte Hollington y Hillman⁵, señalan la necesidad de evaluar los asientos para sillas de ruedas, en condiciones dinámicas con la finalidad de evaluar el desempeño durante las AVD.

Con el fin de evaluar el desempeño de los asientos para silla de ruedas en condiciones dinámicas, en

este estudio desarrollamos un protocolo de mediciones de presiones dinámicas durante la propulsión⁹⁻¹¹; además de un software para analizar los parámetros de presión obtenidos durante la propulsión; denominado “Software de Análisis de Presiones Dinámicas” © (SAPD)¹².

Por otro lado, como parte del desarrollo un software, es necesario evaluar cómo el usuario se relaciona con él, si es fácil de usar su uso es intuitivo, y además cumple con la necesidades del usuario y le es útil, sirve para lo que fue diseñado; es decir su usabilidad¹³, la cual de acuerdo Hassan-Montero y Ortega-Santamaría¹⁴ se define como “básicamente a la facilidad de uso de una aplicación o producto interactivo”; y de acuerdo a la Norma ISO 9241-1-1998, la usabilidad se define como “el grado de eficacia, eficiencia y satisfacción con la que usuarios específicos pueden lograr objetivos específicos, en contextos de uso específicos”^{13,15}. Hassan-Montero y Ortega-Santamaría¹⁴, proponen que un producto o aplicación (software) será usable en la medida que el usuario encuentre beneficio en usarlo, que grado de utilidad tiene para resolver su necesidad; entendida la utilidad como el provecho, beneficio e interés que produce el uso del producto o aplicación (software); estos autores¹⁴ proponen que la Evaluación Heurística de la usabilidad, es una opción sencilla y económica de evaluación, ya que consiste en un método de inspección, sin la intervención del usuario, siendo realizada por expertos en el diseño de la aplicación, producto o en este caso de software.

Dada la importancia de la evaluación de un producto o aplicación, desde la usabilidad y utilidad; el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la usabilidad y utilidad del SAPD©, en el caso de la evaluación de la usabilidad fue realizada por tres expertos, de acuerdo a la evaluación Heurística planteada por Hassan-Montero y Ortega-Santamaría¹⁴; y la evaluación de la utilidad del SAPD-©, se realizó estudiando el comportamiento de las presiones generadas durante la propulsión de las silla ruedas de cinco pacientes con lesión medular.

Material y metodos

El SAPD©, fue diseñado modularmente, con la finalidad de agregar, quitar o modificar módulos, sin que esto afecte la arquitectura de la programación; para mayor detalle del SAPD©, consultar Tabla 1 Suplementaria y Figura Suplementaria 1. Los módulos de interfaz del usuario son:

Tabla I. Características clínicas y antropométricas de la muestra de voluntarios

No. de paciente	Género	Nivel de lesión medular	Edad (años)	Talla (m)	Peso (kg)	IMC
1	M	T4-C	38.00	1.72	79.90	27.00
2	M	T-11	47.00	1.75	75.80	24.10
3	M	T4-C	33.00	1.75	98.00	32.00
4	M	T4-C	35.00	1.68	65.00	23.00
5	M	T9-C	31.00	1.64	73.00	27.10
Promedio			36.80	1.71	78.34	26.64
*S			6.26	0.05	12.27	3.49
Rango			31.00-47.00	1.64-1.75	65.00-79.90	23.00-27.10

*S: Desviación Estándar

Tabla II. Porcentajes de presiones iguales o por arriba del valor de 80 mmHg, en condiciones dinámicas (propulsión de la silla de ruedas).

No. de paciente	Empuje		Recuperación	
	Tuberosidades isquiáticas y sacro (%)	Muslos (%)	Tuberosidades isquiáticas (%)	Muslos (%)
1	41.00	0.00	49.00	0.00
2	100.00	0.00	84.00	0.00
3	100.00	0.00	100.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00
5	42.93	0.00	97.00	0.00
Promedio	56.79	0.00	66.00	0.00
*S	43.01	0.00	42.09	0.00
Rango	55.47-11.72	31.25-0.00	55.47-11.72	31.25-0.00

*S: Desviación Estándar

- **Módulo 1 "Abrir archivo".**- Busca el archivo en Excel, obtenido de los datos arrojados por el Sistema Kinesiológico¹¹ y del sistema para medir presiones generadas en asientos Force Sensing Array (FSA)© Vista Medical, Winnipeg, Canadá^{3,16}, este archivo es indispensable para procesar los datos de presión.
- **Módulo 2 "Gráficas".**- En este módulo se visualizan las siguientes gráficas: Presión Máxima (mmHg); Presión Promedio (mmHg); Valor umbral (mmHg), este valor es definido por el usuario; Área Crítica (cm²); Promedio del Valor Umbral (mmHg).
- **Módulo 3 "Coordenadas".**- El SAPD© despliega la posición del sensor dentro del mapa de presión por medio de su coordenada, así como la presión ejercida sobre el sensor localizado, para esto el programa muestra una tabla.
- **Módulo 4 "Resultados Generales".**- El objetivo es mostrar los parámetros de presión adquiridos

durante la prueba dinámica en forma ordenada, para que pueden ser ubicados fácilmente durante el intervalo de tiempo que dura la prueba.

- **Módulo 5 “Sensores”**.- Este módulo despliega por cuadrantes: Superior Derecho (SD), Superior Izquierdo (SI), Inferior Derecho (ID), Inferior Izquierdo (II); la cantidad de sensores activados durante el muestreo: las Presiones Máximas, Presiones Mínima, Presiones Promedio; y el Promedio del Valor del Umbral.

I. Usabilidad del SAPD©

La evaluación de la Usabilidad, se realizó a través de la evaluación Heurística propuesta por Hassan-Montero y Ortega-Santamaría¹⁴. La técnica consiste en que entre tres a cinco expertos, inspeccionan y analizan el diseño del producto, en este caso el software SAPD©, en busca de potenciales problemas de usabilidad, comprobando para ello el cumplimiento de principios de diseño usable (principios heurísticos) previamente establecidos. Los principios de diseño o ‘heurísticas’ son directrices que establecen requisitos que debe cumplir el diseño con el fin de facilitar su comprensión y uso por el usuario final.

La aplicación Heurística, se recurrió a tres expertos de diversas instituciones, quienes no estuvieron involucrados en el desarrollo del SAPD©; tienen experiencia en desarrollo de software. Los expertos evaluaron el SA- PD©, aplicando los siguientes principios, que tanto los expertos como los autores, definieron como básicos para un software que ayude a analizar el comportamiento de las presiones que se generan entre el usuario y su asiento, se usó como modelo el software del FSA©, :

- Interfaz Gráfica, refiriéndose a qué tan amigable es visualmente, así como que tan interactiva es.
- Velocidad en la que se procesa los datos o la información captada de los pacientes dada en cuantas muestras por segundo puede el programa analizar.
- La facilidad del manejo refiriéndose a la interacción que puede tener el usuario con el programa sin necesidad de ser un especialista (entendible para el profesional de rehabilitación), refiriéndose a que tan sencillo puede ser.
- La aplicación contribuye al análisis de los datos de presiones dinámicas.
- Los datos que despliega el SAPD©, son útiles para evaluar el desempeño de los asientos para sillas de ruedas.

Cada criterio, fue evaluados aplicando una Escala Visual Análoga, para cada criterio, donde: 0 co-

rresponde a “muy malo” y 10 corresponde a “excelente”. Figura 1.

II. Utilidad del SAPD©

La utilidad fue evaluada en condiciones de laboratorio, conducida por los autores del estudio. Se reclutaron cinco pacientes con lesión medular completa o incompleta, que propulsarán su silla de ruedas en forma autónoma, con o sin antecedente de úlceras por presión, en caso de presentar úlcera por presión, la úlcera no mayor a Grado III, y estar bajo tratamiento médico durante el estudio; ambos sexos. Cada uno de los pacientes firmó consentimiento informado. El protocolo de estudio fue aprobado por el comité de ética institucional y se apegó a la declaración de Helsinki.

A cada sujeto se le proporcionó una silla de ruedas de acuerdo a sus medidas antropométricas, nivel de lesión, tipo de actividades que realizan y necesidades, además se les fabricó un asiento conformado INR¹⁷.

Se aplicó el protocolo de medición de presiones en condiciones estáticas para asientos de sillas de ruedas, propuesto por Crawford³ con el fin de evaluar si el asiento y la silla de ruedas estaban correctamente ajustados. Se utilizó el sistema de medición de presiones FSA©. El sistema cuenta con un tapete de 256 sensores resistivos, organizados en una matriz de 16X16 sensores. La matriz de sensores está contenida en una capa de nylon y neopreno, dando como resultado un tapete delgado y flexible. Además el sistema cuenta con una interfaz a una computadora personal. La información se despliega en mapas topográficos con códigos de colores, llamados mapas de presión. La frecuencia de muestreo del FSA© es de 5 Hz^{16, 18}. El cual se encuentra calibrado de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Figura 2.

Se aplicó el protocolo de medición para la obtención de parámetros biomecánicos, durante la propulsión, propuesto por Quiñones et al.¹⁰⁻¹¹, en conjunto con el protocolo para medir presiones generadas en los asientos durante la propulsión, propuesto por Lara-López et al.⁹, el cual se describe a continuación:

En el asiento de la silla de ruedas de sensores del equipo FSA©. Con el fin de ubicar la fase del ciclo de propulsión, en que se localiza un mapa de presión, se le coloca al sujeto un guante instrumentado, teniendo como resultado, cuando el sujeto toca el aro de sus ruedas, el sistema Kinesiológico registra un 1, correspondiendo a la fase de empuje en el ciclo de propulsión, cuando el sujeto suelta el aro, el Sistema Kinesiológico registra un 0, correspondiendo a la fase de recuperación dentro del ciclo de propulsión. Ver Figura 3.

El sujeto debe propulsar su silla de ruedas por 30 s para la adquisición de datos. Una vez obtenidos los datos del Sistema Kinesiológico y del FSA®; se procesan los datos de presión con el SAPD®.

Resultados

I. Análisis de Usabilidad

El SADP® fue instalando en forma ejecutable en una computadora Pentium 4 con 2Gb de RAM, disco duro de 500GB, tarjeta de video es una ATI Radeon 9550. El software fue evaluado por tres expertos, y calificado aplicando las Escalas Visuales Análogas. El experto 1, calificó la Interfaz Gráfica, como muy buena; Velocidad en la que procesa los datos como buena; la facilidad de manejo del software como muy buena; la aplicación contribuye al análisis de los datos de presiones dinámicas calificado como excelente; los datos que despliega el SAPD®, son útiles para la evaluación de los asientos para sillas de ruedas como bueno.

El experto 2, calificó la Interfaz Gráfica, como buena; Velocidad en la que procesa los datos como buena; la facilidad de manejo del software como muy buena; la aplicación contribuye al análisis de los datos de presiones dinámicas calificado como excelente; los datos que despliega el SAPD®, son útiles para la evaluación de los asientos para sillas de ruedas como muy bueno.

El experto 3, calificó la Interfaz Gráfica, como excelente; Velocidad en la que procesa los datos como excelente; la facilidad de manejo del software como excelente; la aplicación contribuye al análisis de los datos de presiones dinámicas calificado como excelente; los datos que despliega el SAPD®, son útiles para la evaluación de los asientos para sillas de ruedas como excelente.

II. Análisis de Utilidad

Los autores realizaron una prueba piloto, para evaluar las presiones dinámicas en cinco pacientes con lesión medular usuarios de sillas de ruedas; en la Tabla I se observan las características demográficas de la muestra.

Los evaluadores, encontraron útil, que el usuario pudiera definir a criterio el valor umbral de presión; para esta prueba piloto el criterio para el valor umbral fue definido con un valor de 80 mmHg, de acuerdo a Bennet et al., quienes sugieren que entre 60 - 80 mmHg, es la presión necesaria para ocluir las venas en la eminencia tenar en personas sanas, en condiciones de altas fuerzas cortantes¹⁹.

Los valores de presiones iguales o por arriba de 80 mmHg fueron ubicados en los mapas de pre-

sión en el Módulo 3 “Coordenadas”, estas presiones en su mayoría se ubicaron en la zona de las tuberosidades isquiáticas y la zona del sacro. En las gráficas desplegadas en el Módulo 2 “Gráficas”, se observó que el comportamiento de los parámetros de presión (presión máxima presión promedio, valor umbral, área crítica, promedio del valor Umbral), durante la propulsión, encontrando que son mayores los valores de presión durante la fase de recuperación, que durante la fase de empuje.

A partir de los datos arrojados por el parámetro Valor Umbral, derivados de los Módulo 3 “Coordenadas”; Módulo 2 “Gráficas” y Módulo 5 “Sensores”, se obtuvieron los siguientes datos ver Tabla 2, en la cual se observa el comportamiento de las presiones que se consideraron críticas, ya que se encuentran son iguales o están por arriba de 80 mmHg.

Velocidad de procesamiento de datos es:

0= Muy malo 3=regular 5=Bueno 8= Muy Bueno 10=Excelente

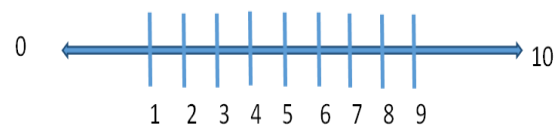


Figura 1. Ejemplo de Escala Visual Análoga (EVA), usada por los expertos para evaluar el SAPD®

Discusión

El SAPD® fue probado por primera vez, en condiciones de laboratorio, y con una muestra reducida, por lo que la aplicación de la metodología heurística, es una buena opción para evaluar el desempeño de un software o producto antes de que sean usados por el usuario final, en este caso los profesionales de rehabilitación que recomiendan asientos para sillas de ruedas. A pesar de que los expertos califican como usable el SAPD(C) sugieren a los autores que es necesario realizar mejoras al SAPD®, antes de que sea transferido al usuario final. En el “Módulo 2 Gráficas”, se sugiere que en lugar de desplegar las gráficas obtenidas de los ciclos de propulsión (toca el aro, no toca el aro), junto con los parámetros de presión, se despliegue una gráfica del ciclo de propulsión de 0 a 100%, por parámetro de presión que puedan ser desplegados a solicitud del usuario.

“Módulo 5 Sensores”, se le debe cambiar el nombre de Sensores a Cuadrantes. En lugar de des-

plegar los cuatro cuadrantes desplegar dos cuadrantes:

superior e inferior, ya que el “Módulo 3 Coordenadas”, ayuda a ubicar las coordenadas de interés en el mapa de presión. El parámetro de Valor Umbral, fue uno de los más utilizados por los evaluadores, ya que se encontró útil que el usuario pudiera variar la presión umbral de acuerdo a su criterio.

A pesar de que los demás parámetros de presión, en este estudio no fueron usados se recomienda dejarlos, ya que falta evaluar otras actividades de la vida diaria y pueden ser utilidad, además que al ser modular, se pueden agregar módulos de acuerdo a las necesidades del usuario.

En relación con los cinco casos estudiados usando el SAPD©, el comportamiento de las presiones en condiciones dinámicas se observa un mayor porcentaje de presión en la zona de las tuberosidades isquiáticas y sacro durante la propulsión, en comparación con la zona de los muslos donde no de observan presiones por arriba de 80 mmHg. Esto puede deberse a que el individuo al propulsarse necesita de un punto de apoyo, la zona de las tuberosidades isquiáticas y sacro, lo cual explicaría el aumento de presiones en esta zona, y la disminución en la zona de los muslos, coincidiendo con lo propuesto por Dabnichki y Taktak⁸

Conclusión

Al realizar la evaluación de la usabilidad y la utilidad del SAPD©, se encontró que es una herramienta útil para profesionistas de rehabilitación, que recomiendan asientos para sillas de ruedas, ya que puede ayudar a evaluar el desempeño de los asientos para silla de ruedas, durante las AVD. El SAPD(C) puede ser usado en forma intuitiva y despliega los principales parámetros de presión utilizados para evaluar asientos durante condiciones dinámicas, como la presión máxima y presión promedio^{6,20}; además despliega resultados que también son útiles para evaluar un asiento de sillas de ruedas, como las áreas críticas, que pueden ayudar al personal de rehabilitación a ubicar zonas donde el peso del paciente no está siendo distribuido correctamente por el asiento y pueden favorecer puntos de presión. Definir un valor crítico umbral, es útil al usuario, ya que puede ajustarlo de acuerdo a su criterio o criterios citados en la literatura. Con la futura transferencia del SAPD©, se espera poder apoyar la prevención de úlceras por presión en usuarios de sillas de ruedas activos, al poder evaluar sus asientos para sillas de ruedas en actividades de la vida diaria.

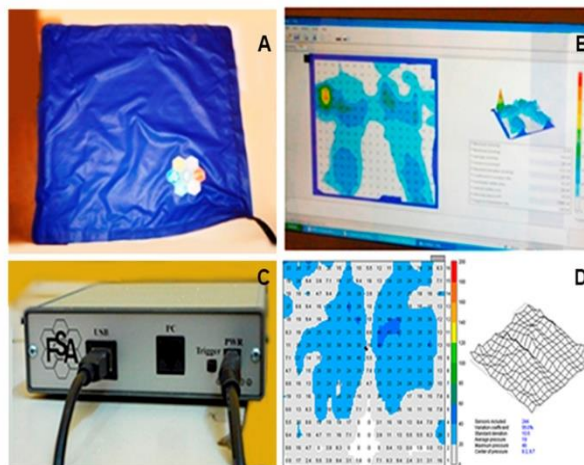


Figura 2. Sistema para medir presiones Force Sensing Array®. A) Tapete que contiene los sensores de presión. B) Despliegue en pantalla de computadora. C) Módulo de control, que se conecta a la computadora. D) Mapa de presión

Agradecimientos

A la División de Rehabilitación Neurológica y al Servicio de Lesión Medular, del Instituto Nacional de Rehabilitación Luis Guillermo Ibarra Ibarra. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo para realizar el proyecto SALUD-2009-1-115219 y SALUD-2007-01-71035.

A las Ingenieras Gabriela Pérez Pacheco (Facultad de Ingeniería UNAM), y a Paola Yessel Raymundo Plata (Universidad Iberoamericana Cd. de México).

A la Facultad de Ingeniería UNAM, Campus Ciudad Universitaria, Cd. de México; Facultad de Ingenierías, Universidad del Valle de México, Campus Coyoacán, Cd. de México, a la Universidad Iberoamericana Cd. de México; y a la Escuela de Ingeniería de Antioquia y Universidad CES, Medellín, Colombia.

Referencias

1. Bogie KM, Bader DL. Susceptibility of Spinal Cord-Injured Individuals to Pressure Ulcers. In: Bader DL, Bouten CVC, Oomens CWJ, editors. Pressure Ulcer Research Current and Future Perspective. Berlin: Springer; 2005. p. 73–88.
2. Sprigle S, Chung K-C, Brubaker CE. Reduction of sitting pressures with custom contoured cushions. J Rehabil Res Dev. 1990;27(2):135.
3. Crawford S. The Application of the Force Sensing Array “FSA” Pressure Mapping System in Clinical Settings. University of Ulster; 2004.
4. Gilsdorf P, Patterson R, Fisher S. Thirty-minute continuous sitting force measurements with different support surfaces in the spinal cord injured and able-bodied. J Rehabil Res Dev. 1991;28(4):33.
5. Hollington J, Hillman SJ. Can static interface pressure mapping be used to rank pressure-redistributing cushions for active wheelchair users? J Rehabil Res Dev. 2013;50(1):53.
6. Kernozek TW, Lewin JE. Seat interface pressures of individuals with paraplegia: Influence of dynamic wheelchair loco-

- motion compared with static seated measurements. *Arch Phys Med Rehabil.* 1998;79(3):313–6.
7. Andreoni G, Pedotti A, Ferrarin M. Pressure Distribution on Wheelchair Cushions in Static Sitting and During Manual Propulsion. *J Mech Med Biol.* 2001 May;1(1):33–44.
 8. Dabnichki P, Taktak D. Pressure variation under the ischial tuberosity during a push cycle. *Med Eng Phys.* 1998;20(4):242–56.
 9. Lara-López DM, Mérida-Gayol D, Quiñones-Uriostegui I, Vela-Peña E, Bourdon-Santoyo M, Monroy-Pelaez A. Estudio de la variación de las presiones que se generan en los asientos de sillas de ruedas en pacientes con lesión medular durante su ciclo de propulsión. *Actas del VII Congreso Iberoamericano de Tecnologías de Apoyo a la Discapacidad 2013.* 2013. p. 165–70.
 10. Quiñones I, Vela E, Pérez AI, Alessi A, Bernal F, Aguado X, et al. Desarrollo de modelo biomecánico para la evaluación cinemática de miembros torácicos. *Archivos de Medicina del Deporte Comunicaciones Poster.* 2010. p. 396–7.
 11. Tovar JA, Quiñones I, Bernal F, Vela E, Pérez AI. Diseño y construcción de un ergómetro para silla de ruedas. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica-Suplemento Resúmenes Congreso.* 2011.
 12. Ramírez-Solano R, Gayol-Mérida DA, López-Lara D, Quiñones-Uriostegui I. Desarrollo de Software para el análisis de presiones que se generan en los asientos para sillas de ruedas durante la propulsión. *Resúmenes aceptados al IV Congreso Internacional de Investigación en Rehabilitación 2013.* Cuidad de México: Investigación en Discapacidad; 2013. p. 7–64.
 13. Usability.gov. [citado 1 May 2017]. Available from: www.usability.gov.
 14. Hassan-Montero Y, Ortega-Santamería S. Informe APEI sobre Usabilidad. *Asociación Profesional de Especialistas en Información.* 2009. p. 73. [citado 1 May 2017] Available from: www.nosolousabilidad.com
 15. Usability.org. [citado 1 May 2017]. Available from: www.usabilitynet.org
 16. Force Sensing Array [citado 3 Abril 2017]. Available from: www.pressuremapping.com
 17. Gayol-Mérida DA, Pérez-Zavala R, Reyes-Aguilar P, Pineda C. Diseño y evaluación de asientos preventivos de úlceras por presión para lesionados medulares. *Rev. Invest Clín.* 2014;66:61–9.
 18. Crawford S, Strain B, Gregg B, Walsh D, Porter-Armstrong A. An investigation of the impact of the Force Sensing Array pressure mapping system on the clinical judgement of occupational therapists. *Clin Rehabil* 2005;19(2):224–31.
 19. Bennett L, Kavner D, Lee BK, Trainor F. Shear vs Pressure as Causative Factors in Skin Blood Flow Occlusion. *Arch Phys Med Rehabil.* 1979;60(7):309–14.
 20. Tam EW, Mak AF, Lam WN, Evans JH, Chow YY. Pelvic movement and interface pressure distribution during manual wheelchair propulsion. *Arch Phys Med Rehabil.* 2003 ;84(10):1466–72.

Tabla Suplementaria 1. Descripción del SAPD

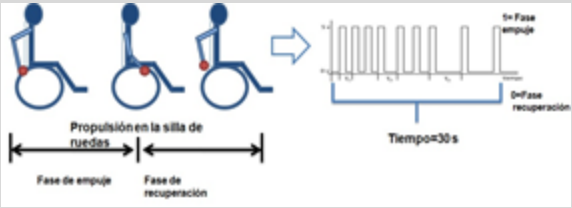

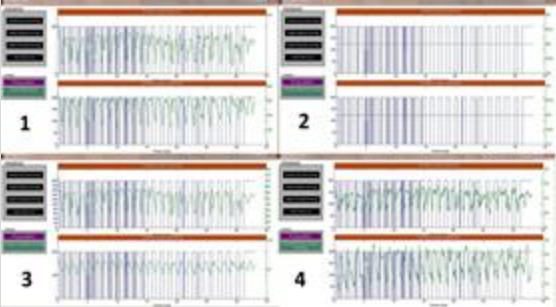

Etapa	Descripción	Figura
Pre procesamiento de los datos.	Los pulsos cuadrados son obtenidos durante el ciclo de propulsión cada pulso se forma al realizar un toque al aro de la silla de ruedas, esto es realizado durante 30 s de prueba, después de este tiempo los datos son pre-procesados en esta etapa.	
Ajuste de muestras con interpolación polinómica de Hermite.	El SAPD© ajusta las muestras de las mediciones por medio de una interpolación por polinomios de Hermite.	
División de mapa de presiones en cuadrantes.	El SAPD© hace una división del mapa de presión en cuatro cuadrantes, los cuales corresponden a SD (Superior Derecho), SI (Superior Izquierdo), ID (Inferior Derecho) e II (Inferior Izquierdo)	
Comparación de valores de presión contra el valor umbral y obtención de resultados.	El SAPD© selecciona los valores que son iguales o sobrepasan un valor umbral de presión seleccionado por el usuario.	
Interfaz de usuario	Consiste en 5 módulos: Abrir archivo, gráficas, coordenadas, resultados generales y Sensores.	

Figura Suplementaria1. Diagrama de desarrollo general del Software

