

# ANÁLISIS DE ÁREA DE SENSADO ÚTIL, EN UN MODELO BIOMECÁNICO PROMINENCIA ÓSEA-TEJIDO BLANDO, PARA EL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE FUERZAS PROMOTORAS DE ÚLCERAS POR PRESIÓN

Guadalupe Acoltzi <sup>a</sup>, Sarahí Camacho <sup>a</sup>, Lourdes Cortés <sup>a</sup>, Diana Gayol <sup>b</sup>, Fátima Tapia <sup>c</sup>, Víctor Domínguez <sup>b</sup>, Naomi Rodríguez <sup>d</sup>, Víctor Araujo <sup>b</sup>, Rodrigo del Villar <sup>e</sup>

<sup>a</sup> Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, [gacoltzir1500@alumno.ipn.mx](mailto:gacoltzir1500@alumno.ipn.mx), [acamachoe1500@alumno.ipn.mx](mailto:acamachoe1500@alumno.ipn.mx), [mcortesi@ipn.mx](mailto:mcortesi@ipn.mx)

<sup>b</sup> Instituto Nacional de Rehabilitación Luis Guillermo Ibarra Ibarra, [dgayolmerida@gmail.com](mailto:dgayolmerida@gmail.com), [vm\\_dominguez@yahoo.com.mx](mailto:vm_dominguez@yahoo.com.mx), [vicaraujom@yahoo.com.mx](mailto:vicaraujom@yahoo.com.mx)

<sup>c</sup> Universidad de Guanajuato, [fg.tapiarodriguez@gmail.com](mailto:fg.tapiarodriguez@gmail.com)

<sup>d</sup> Facultad de Estudios Superiores-Aragón UNAM, [naomirjhp@gmail.com](mailto:naomirjhp@gmail.com)

<sup>e</sup> Universidad Iberoamericana CDMX, [a1860094@correo.uia.mx](mailto:a1860094@correo.uia.mx)

## RESUMEN

En este proyecto se realizó un protocolo para la medición de fuerzas generadas en las tuberosidades isquiáticas simuladas en un modelo biomecánico, de acuerdo con el área de medición y posicionamiento de los sensores de presión Flexiforce, con el propósito medir en un modelo biomecánico tejido blando-tuberosidades isquiáticas, los esfuerzos que pueden ser promotores de úlceras por presión; ya que conocido que los pacientes que se encuentran en sillas de ruedas presentan mayor riesgo de desarrollar úlceras por presión.

## ABSTRACT

This project consists in a protocol to measure the forces generated in the ischial tuberosities simulated biomechanical model, according to position and sensing of pressure sensor Flexiforce. The purpose is measuring the stresses generated in the biomechanical model soft tissue-ischial tuberosities, because theses stresses can be developers of pressure ulcers, and it knows that wheelchairs users have the great risk to develop ´pressure ulcers.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las úlceras por presión (UPP), es un problema a nivel mundial que sufren los adultos mayores. Los principales factores que influyen en una UPP son: la presión, fricción, fuerzas de corte y el microclima o la humedad (10).

La presión es la cantidad de fuerza aplicada perpendicularmente a una superficie. Una fuerza aplicada en un área pequeña producirá una presión mayor que la misma fuerza aplicada en un área grande. La presión que es aplicada a la piel sobre una prominencia ósea

distorsiona, tensa y produce fuerzas cortantes al tejido dañando su estructura y su funcionalidad. Para evaluar el daño en el tejido interno, se desarrolló un modelo biomecánico, prominencia ósea-tejido blando (basado en resinas y silicón) con la finalidad de estudiar el comportamiento de las fuerzas, el modelo simula la carga en las TI's. Para medir dichas fuerzas que se desarrollan en el modelo biomecánico (Fig.1), se desarrolló un sistema de medición basado en sensores Flexiforce. Los sensores más ampliamente usados son piezoresistivos (9), sin embargo, el área de la prominencia es irregular, lo cual dificulta la definición del área a medir y el posicionamiento de los sensores. Por lo que se decidió analizar el sensado útil de los Flexiforce, aplicando fuerza sobre diferentes indentadores con distintas áreas de contacto en el sensor.

## 2. TEORÍA

Las úlceras por presión son lesiones en la piel y / o tejido blando subyacente a prominencias óseas, causadas por la presión constante, o la presión combinada de las fuerzas de corte ejercidas por las prominencias óseas durante un período prolongado de tiempo, causando obstrucción capilar y, por lo tanto, dañando el entorno (1). La formación de úlceras por presión está influenciada por factores intrínsecos como la parálisis, ya que el paciente sufrirá una pérdida de masa muscular y tono muscular, lo que provocará una reducción del tejido muscular que rodea las prominencias óseas, principalmente en la pelvis. Además, la pérdida del tono muscular afecta la respuesta motora a los estímulos externos (2) y, además, la parálisis motora afecta la capacidad del sistema nervioso para responder a los estímulos nocivos y la capacidad de cambiar la posición conscientemente. (2)(3).

Los pacientes más propensos a desarrollar úlceras por presión, derivadas de su afección neurológica, son los ancianos y las personas con lesiones de la columna vertebral. En el caso de las lesiones de la columna vertebral, algunos estudios han encontrado que entre el 31% y el 79% desarrollan úlceras por presión a lo largo de su vida (3). Según Bogie et al. (4), el 47% de las úlceras por presión se localizan en el área de las tuberosidades y el sacro en pacientes con lesión de la médula espinal, y estas lesiones pueden estar asociadas con afecciones relacionadas con la forma en que el paciente está sentado.

Recientemente, el Panel Asesor Nacional de Úlceras por Presión (NPUAP, por sus siglas en inglés) ha reconocido un daño relativo en el tejido subcutáneo que se encuentra debajo de la piel intacta, conocido como lesión tisular profunda sospechada (DTI), que es difícil de detectar, y representa un reto clínico. Hay otros factores a considerar, como la recomendación de superficies de apoyo para ayudar a reducir las tensiones internas dentro del tejido. En condiciones clínicas para la evaluación de las superficies de apoyo (asientos para sillas de ruedas y colchones), se miden las presiones superficiales generadas entre el paciente y la superficie de apoyo, Crawford (5), lo que sugiere que las medidas clínicas de los asientos para sillas de ruedas deben durar al menos ocho minutos; sin embargo, estas mediciones no cuantifican la intensidad de las fuerzas generadas dentro del tejido, ya que de acuerdo con los datos encontrados en un modelo experimental anterior que simula la carga de una tuberosidad isquiática en el tejido blando, propuesta por Gefen & Levine (6), las tensiones justo debajo de la tuberosidad isquiática pueden exceder entre 5 y 11 veces las

registradas a distancias más cercanas a la superficie. En un modelo animal, Le et al. (7) encontraron que las presiones más altas (270 mmHg) se encontraban directamente debajo de las prominencias óseas, a una profundidad de 12.5 mm con respecto a la piel, mientras que medían una presión de contacto de 47 mmHg en la superficie de la piel. (8)

Actualmente existen varios sistemas para la medición de presiones entre un sujeto y una superficie de apoyo, existen aplicaciones para asientos, camas, zapatos u órtesis y/o prótesis, entre otros, éstos cuentan con diferentes tipos de sensores: capacitivos, piezoresistivos, neumáticos. La mayoría de estos sistemas cuentan con matrices de sensores que son flexibles y que pueden amoldarse a la forma de la interface de paciente/superficie. El sistema FSA (Force Sensing Array), desarrollado por VistaMedical (Winnipeg, Canadá), permite evaluar las fuerzas que se generan entre una persona y alguna superficie. (9)

## OBJETIVO

Desarrollar un protocolo para definir el área de medición y posicionamiento de los sensores Flexiforce y así medir las fuerzas generadas en el modelo biomecánico.

## 3. METODOLOGÍA

Se desarrolló un sistema de adquisición, utilizando la tarjeta DAQ NI-USB6009(Fig.2), un circuito de acondicionamiento (Fig.3) y una plataforma para procesar los datos (MATLAB(Fig.4)). Los sensores se calibraron con las recomendaciones del fabricante. El protocolo de pruebas consiste en aplicar una carga constante de 450 N (torso persona 70 kg) durante 8 minutos, en el modelo biomecánico prominencia-tejido blando con la máquina universal INSTRON-40502 (Fig. 5), durante este tiempo se registra el voltaje de salida, arrojado por el circuito de acondicionamiento, mediante la plataforma diseñada de manera digital. Para definir el área de sensado, se sustituyó la prominencia por tres dispositivos; un indentador de 9mm de diámetro (Fig. 6), otro de 5 mm diámetro (Fig.7) y un indentador rectangular de 2.97mm de ancho x 9.97mm de largo (Fig.8), también se omitió el tejido blando colocando el sensor sobre una superficie plana, se realizaron tres corridas del protocolo, por dispositivo. Se promediaron los resultados de las tres corridas, es decir los voltajes de salida y se aplicó una prueba t-Student, con nivel de significancia 95%. Para así determinar si existe una diferencia significativa entre las áreas de los dispositivos de carga.



Figura 1. Modelo Biomecánico (9)

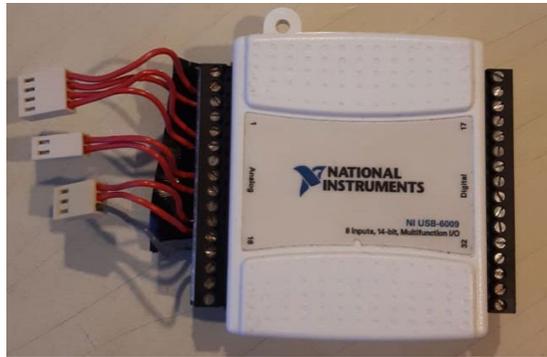


Figura 2. Tarjeta de adquisición DAQ NI-USB6009

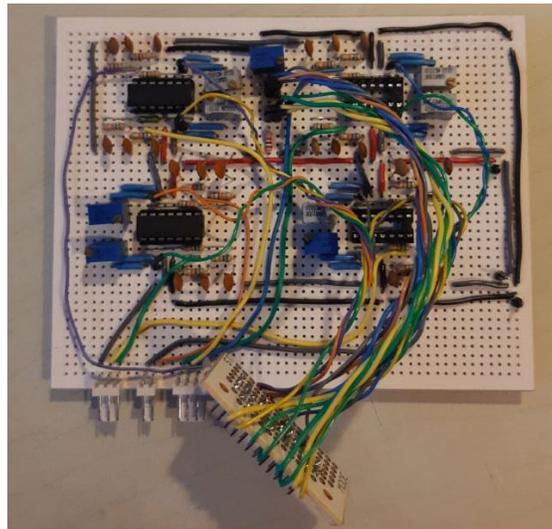


Figura 3. Circuito de acondicionamiento

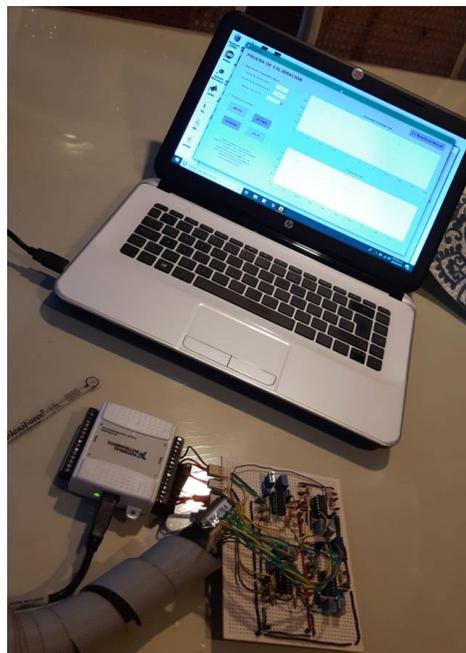


Figura 4. Sistema para la adquisición de los datos



Figura 5. Máquina Universal INSTRON-40502



Figura 6 Indentador de 9mm de diámetro



Figura 7. Indentador de 5 mm diámetro



Figura 8. Indentador rectangular de 2.97mm de ancho x 9.97mm de largo

#### 4. RESULTADOS

Se encontró una diferencia significativa en: Fig.9 9mm vs. 5mm ( $p=6.84 \times 10^{-32}$ ); Fig.10 9mm vs. 2.97x9.97mm ( $p=8.81 \times 10^{-31}$ ); Fig.11 5mm vs. 2.97x9.97mm ( $p=1.72 \times 10^{-24}$ ).

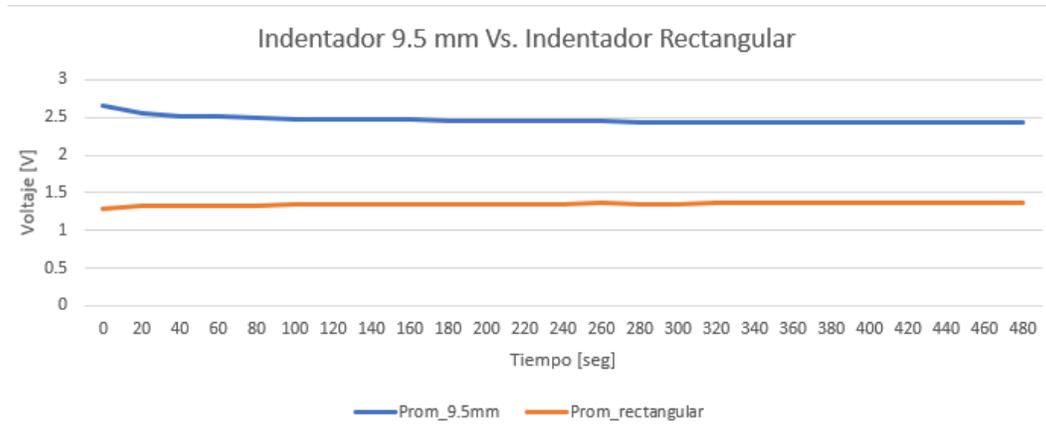


Figura 9. Gráfica Voltaje vs. Tiempo del Indentador 9.5mm vs. Indentador rectangular

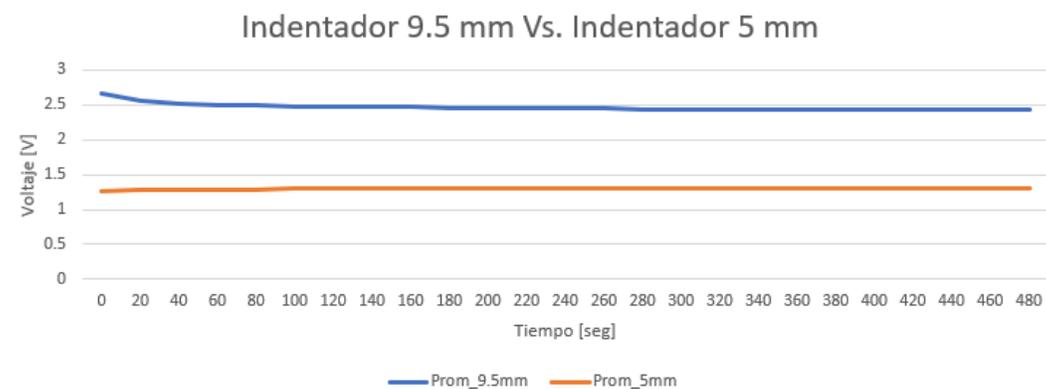


Figura 10. Gráfica Voltaje vs. Tiempo del Indentador 9.5mm vs. Indentador 5mm

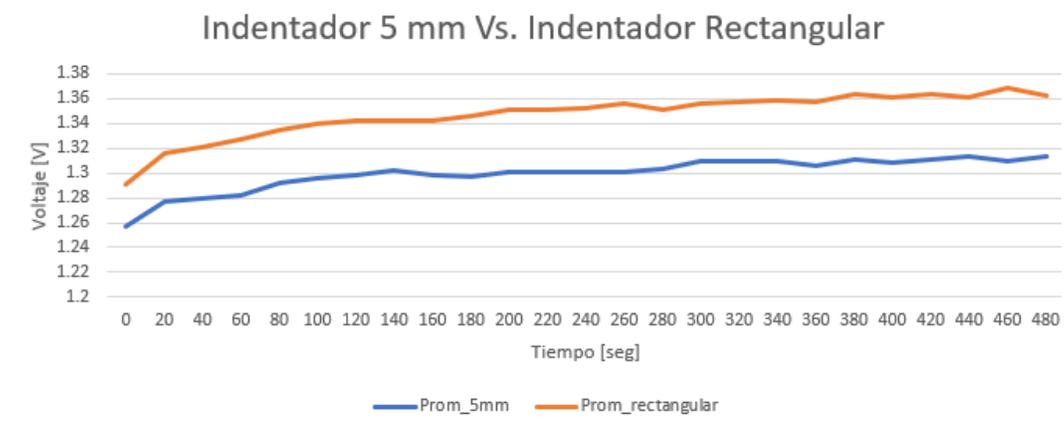


Figura 11. Gráfica Voltaje vs. Tiempo del Indentador 5mm vs. Indentador rectangular

## 5. CONCLUSIONES

Se observó que el voltaje de salida varía de acuerdo con el área de carga definida por el usuario, por lo que, en el protocolo de pruebas del modelo, el usuario deberá definir el área en la que quiere medir la fuerza. Este sistema de adquisición de fuerzas puede usarse para el diseño de sillas de ruedas y camas preventivas de úlceras por presión, ya que puede ayudar a medir en el usuario los esfuerzos que se generan en su piel al estar sentado o recostado en una superficie, o como en este caso usando modelos biomecánicos que permitan estudiar cómo será el comportamiento al interior del tejido blando.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Lyder, C. H. Pressure ulcer prevention and management. *JAMA*, 289(2):223- 6, 2003
- [2] Bogie, K. M. & Bader, D. L. Susceptibility of Spinal Cord-Injured Individuals to Pressure Ulcers. In: Bader, D. L.; Bouten, C. V. C. & Oomens, C. W. J. (Eds.). *Pressure Ulcer Research Current and Future Perspective*. Berlin, Springer, 2005. pp.73-88.
- [3] Henzel, M. K.; Bogie, K. M.; Guihan, M. & Ho, C. H. Pressure ulcer management and research priorities for patients with spinal cord injury: consensus opinion from SCI QUERI Expert Panel on Pressure Ulcer Research Implementation. *J. Rehabil. Res. Dev.*, 48(3):11-31, 2011.
- [4] Bogie, K. M.; Nuseibeh, I. & Bader, D. L. Early progressive changes in tissue viability in the seated spinal cord injured subject. *Paraplegia*, 33(3):141-7, 1995.
- [5] Crawford, S. The Application of the Force Sensing Array “FSA” Pressure Mapping System in Clinical Settings. Thesis. Coleraine, Ulster University, 2004
- [6] Gefen, A. & Levine, J. The false premise in measuring body-support interface pressures for preventing serious pressure ulcers. *J. Med. Eng. Technol.*, 31(5):375-80, 2007.
- [7] Le, K. M.; Madsen, B. L.; Barth, P. W.; Ksander, G. A.; Angell, J. B. & Vistnes, L. M. An in-depth look at pressure sores using monolithic
- [8] Gayol-Mérida, Diana Alicia, Enríquez-Rivera, Luis Alberto, Araujo-Monsalvo, Víctor Manuel, Alemán-Pérez, Aylenid, Baez-Rivas, Livier, & Domínguez-Hernández, Víctor Manuel. (2017). Analysis of Behavior of Forces in a Pelvis-Soft Tissue Mechanical Model. *International Journal of Morphology*, 35(3), 979-985. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000300028>
- [9] Enríquez-Rivera, Luis. Caracterización de Sensores de Fuerza Piezo-Resistivos para Aplicación en la Medición de Presiones Generadas en Superficies Preventivas de Úlceras por Presión. En: Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica (36, 23-25, octubre, 2013, Aguascalientes). Memorias.
- [10] International review. Pressure ulcer prevention: pressure, shear, friction and microclimate in context. A consensus document. London: Wounds International, 2010.