

# Evaluación de una fórmula de espuma de poliuretano flexible para asientos conformados dirigido a usuarios con lesión medular

Medina Díaz, Gerardo Alfredo

2022-12-02

---

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/5577>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

# Evaluación de una fórmula de espuma de poliuretano flexible para asientos conformados dirigido a usuarios con lesión medular

Encinas Contreras Maryam (novenno semestre en Ingeniería Química)<sup>1</sup>; Medina Díaz Gerardo Alfredo (novenno semestre en Ingeniería Química)<sup>1,\*</sup>, Bernal Cuevas Ramiro Antonino (profesor responsable)<sup>1</sup>, Moreno Hernández Ana (profesora asesora)<sup>1</sup>, Figueras Corte Miguel Ángel, (profesor asesor)<sup>1</sup>, Romero de la Vega Gregorio (profesor asesor)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México

## Resumen

En este trabajo se evaluó una fórmula de espuma de poliuretano flexible para asientos conformados dirigidos a usuarios con lesión medular, como una alternativa a los cojines antiescaras tradicionales que se utilizan para el problema de úlceras por presión los cuales tienen un costo elevado siendo poco accesibles para el usuario. Las úlceras por presión son daños en la piel o tejidos blandos suprayacentes a las prominencias óseas como resultado de presión y fuerzas cortantes, las zonas más susceptibles a su aparición son los isquiones y trocánteres bilaterales, coxis y sacro. Se realizaron pruebas mecánicas (tensión y compresión), pruebas de resistencia (intemperismo y combustión) y se determinaron las propiedades gravimétricas para evaluar la pertinencia de la espuma de poliuretano formulada. Para la prueba de tensión y compresión se utilizó la máquina universal Shimadzu, (norma ASTM D3574). Por último, se hizo un comparativo de la espuma formulada con dos espumas comerciales de alta y baja densidad, determinando los puntos de mayor presión mediante el sensor Body Track Pro. Concluyendo que la espuma formulada es elástica, tiene la capacidad de regresar a su forma inicial tras suministrarse una fuerza, es muy porosa, tiene bajo esfuerzo de tracción y es inflamable por lo que se recomienda adicionar un retardante, para la seguridad del usuario e impermeabilizarla para reducir su capacidad de absorción de líquidos en caso de incontinencia. Además, reduce la presión en un área de contacto disminuyendo la probabilidad de aparición de úlceras por presión.

**Palabras clave:** Asientos antiescaras, espuma de poliuretano, úlceras por presión.

\***Autor Corresponsal:** gerardo.medina@iberopuebla.mx

## Introducción

México cuenta con 6,179,890 personas con discapacidad, de las cuales el 48% representa a personas en silla de ruedas [1]. La lesión medular es un problema común en usuarios que se encuentran en silla de ruedas; tal lesión son daños sufridos en la médula espinal a consecuencia de un traumatismo, se estima que su incidencia anual es de 18 por cada millón de habitantes. La mayoría de los afectados requieren de una silla de ruedas para desplazarse de forma independiente o con asistencia. La inmovilidad y las alteraciones de la sensibilidad, aunadas al tiempo que pasa el afectado sentado en su silla de ruedas, incrementan el riesgo de desarrollar úlceras por presión [2]. De acuerdo con la *National Pressure Ulcer Advisory Panel* (NPUAP) y la *European Pressure Ulcer Advisory Panel* (EPUAP), las úlceras por presión se definen como daños en la piel y/o los tejidos blandos suprayacentes a las prominencias óseas, como resultado de la presión o de la combinación de la presión y fuerzas cortantes. Las úlceras por presión representan un problema de salud importante a nivel mundial, pues tiene repercusiones tanto personales como socioeconómicas, convirtiéndose así en un problema de salud pública.

El factor local más significativo de la aparición de úlceras es la relación presión-tiempo, ya que se desarrollan en áreas corporales sujetas a deformación por una alta presión no liberada durante un tiempo prolongado. Presiones elevadas

ejercidas sobre un área concreta durante un tiempo prolongado desencadenan un proceso isquémico que, si no se revierte a tiempo, origina la muerte celular y su necrosis [3].

Según sea la posición que el paciente mantenga durante un tiempo determinado, las zonas más susceptibles de desarrollar úlceras por presión en una silla de ruedas son los isquiones y trocánteres bilaterales, coxis y el sacro. Y en menor proporción omoplatos, plexo de rodilla y talones [4]. Una alternativa para evitar esta problemática, son los cojines antiescaras que se basan en un repartimiento de los puntos de presión corporal en una superficie mayor porque reduce la presión en los puntos concretos donde las escaras aparecen con mayor frecuencia. Comercialmente se pueden encontrar cojín de aire, de gel, espumas viscoelásticas y cojín de aire con compresor, sin embargo, los precios son elevados [5].

La espuma viscoelástica es un material poroso que posee dos fases: la sólida y la compuesta por fluidos (gas y líquido). La espuma flexible es un material celular que tiene el mayor porcentaje de celdas abiertas, lo que permite que esta no pierda su estructura geométrica cuando es deformada. También se conoce como espuma de baja resiliencia, espuma de lenta recuperación o espuma alivia presión, presenta características únicas como absorción de energía, golpes y el amortiguamiento de vibraciones.

Estas espumas están desarrolladas con polímeros plásticos que brindan las propiedades mecánicas y ergonómicas para evitar la formación de estas úlceras, en muchas ocasiones el

tipo de polímero que forma a las espumas es el factor que determina el precio del producto. Por lo que, la formulación de estas espumas es vital en el desarrollo de este tipo de productos [6].

El poliuretano es un material plástico presente en distintas formas, principalmente flexible o rígido y debido a sus múltiples propiedades, este puede tener un enorme número de aplicaciones comerciales como aislantes, acolchado para muebles, colchones, equipo médico, rellenos y almohadillas ergonómicas [7].

El poliuretano es un polímero que resulta de dos reacciones principales:

-Reacción de gelificación: presenta la reacción entre el poliisocianato y el polioliol, produciendo poliuretano y calor.

-Reacción de soplado: es esencial para la formación de la espuma de poliuretano, en ella reacciona el isocianato con el agua [8]. El primer producto de la reacción es el ácido carbámico que al ser inestable produce una amina y dióxido de carbono. Después la amina reacciona con el isocianato formando urea.

Para la formación de poliuretano se utiliza un polioliol y un isocianato, que mejoran el procesamiento para obtener un producto con propiedades específicas. Luego, se añaden dos catalizadores, un catalizador de amina, cuya función específica es de balancear y controlar ambas reacciones para el proceso de formación de la espuma y un catalizador de estaño, que es fundamental en la reacción de gelificación [9]. El surfactante actúa como agente de control en la formación de las celdas de espuma, el agua favorece a las condiciones de la reacción ayudando a regular la temperatura y el Cloruro de Metileno actúa como agente de moldeo para la producción de espumas.

Para la correcta formación de la espuma, se debe llevar a cabo la nucleación, que es el paso de formación de burbujas de gas [10]. El gas producido, puede ser Dióxido de Carbono y debe salir rápidamente de la solución para formar la masa líquida que mediante el burbujeo se va estabilizando y se polimeriza en el medio líquido. A los 10 segundos se presenta el tiempo de gelado o cremado, que es cuando la concentración del gas en la solución excede la concentración de saturación en equilibrio, por lo cual la solución se vuelve supersaturada; al generar gas rápidamente, se alcanza la concentración donde comienza la autonucleación que ocurre cuando la concentración de gas está dentro de un rango determinado. Finalmente se libera la concentración del gas y se detiene la formación de burbujas para alcanzar el equilibrio de la concentración de saturación [11]. La alta viscosidad impide que la membrana fluya lo suficientemente rápido como para que se expanda y se libere el gas.

Este proyecto parte del desarrollo alcanzado en el trabajo de servicio social realizado en primavera 2022 [12], donde se logró la formulación de dos espumas de poliuretano flexibles, las cuales fueron comparadas mediante las pruebas gravimétricas y volumétricas. La espuma descartada resultó ser de muy baja densidad, por lo que su durabilidad se vería

afectada al cabo de cierto tiempo y perdería consistencia al ser muy liviana, el cuerpo del usuario quedaría muy próximo al asiento de la silla de ruedas generando las úlceras por presión. Además, en esta espuma que se descartó, se obtuvieron unos valores de relación de vacíos de 19.67, porosidad 95.16%, grado de saturación 0.32%, contenido de agua 5.26% y peso volumétrico 0.058 g/cm<sup>3</sup>. Mientras que la espuma seleccionada, "Espuma Ibero", tuvo una relación de vacíos del 12.95, porosidad 92.83%, grado de saturación 1.62%, contenido de agua 4.76% y peso volumétrico 0.316 g/cm<sup>3</sup>, presentando una mayor densidad, elasticidad y soporte, cumpliendo con los criterios para poder ser evaluada para su aplicación en asientos conformados dirigido a usuarios en sillas de ruedas. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue evaluar dicha fórmula de espuma de poliuretano flexible para asientos conformados dirigidos a usuarios con lesión medular. Para alcanzar dicho objetivo se plantearon los siguientes objetivos específicos: seleccionar las pruebas específicas para asientos conformados de la espuma Ibero; determinar las pruebas mecánicas y físicas de la espuma Ibero; evaluar las pruebas de resistencia de la espuma Ibero; comparar la espuma Ibero con dos espumas comerciales de alta y baja densidad con un sensor de alta presión; deducir si la espuma Ibero es la adecuada para su aplicación en asientos conformados de silla de ruedas.

## Metodología

### *Desarrollo de espuma de poliuretano flexible (Espuma Ibero)*

A partir de la formulación desarrollada en el servicio social [12], se emplearon los reactivos y las cantidades proporcionados por la empresa Puflex, mostrados en la Tabla 1, para preparar la espuma Ibero.

Tabla 1: Cantidades de reactivos para la obtención espuma. Fuente: elaboración propia.

Reactivo	Cantidad (mL)
Polioliol	200
Isocianato	100
Catalizador (Aminas)	0.2
Catalizador (Estaño)	0.4
Agua	15
Surfactante	3.8
Cloruro de metileno	12

Para las siguientes pruebas, se utilizaron moldes específicos para la espuma en cada una de ellas.

### *Pruebas dirigidas a un asiento conformado*

Se seleccionaron las pruebas específicas para la espuma Ibero que cumplieran con los criterios adecuados para su aplicación en asientos conformados.

Las pruebas mecánicas, de compresión y tensión se seleccionaron a partir de la norma ASTM D3574 [13]. Las pruebas gravimétricas y volumétricas se seleccionaron a partir del trabajo de G. Guichard y A. Rebolledo [14],

manual que sirvió de guía para la evaluación de las propiedades físicas de la espuma. Además, se propusieron dos pruebas de resistencia, intemperismo y combustión. Por último, la prueba de sensor de alta presión, en la que se seleccionaron 3 usuarios con diferente Índice de Masa Corporal (IMC) para comparar la espuma Ibero con 2 espumas comerciales (alta y baja densidad), fundamentada en el protocolo de Terra Cushion Line [15], donde se evalúan asientos conformados adaptados para prevenir la generación de úlceras por presión.

### *Pruebas mecánicas*

#### Prueba de tensión

Se utilizó como referencia la norma ASTM D3574 [13], este método de ensayo determina el efecto de la aplicación de una fuerza de tracción a la espuma. Para la realización del ensayo en la máquina universal de esfuerzo (Shimadzu), se adecuó una probeta conforme a las dimensiones indicadas en la Fig.1, a partir de estas dimensiones, se elaboró el molde de la probeta de aluminio mostrado en la Fig. 2, para la preparación de la espuma Ibero. Las 3 probetas de espuma Ibero se muestran en la Fig. 3.

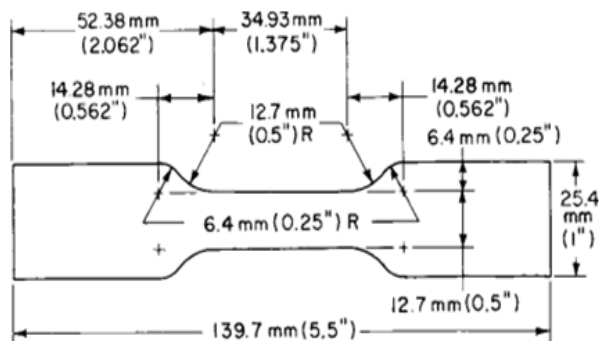


Fig. 1. Dimensiones probeta prueba de tensión [13].



Fig. 2. Probeta prueba de tensión. Fuente: elaboración propia.



Fig. 3. Probetas de espuma Ibero prueba de tensión. Fuente: elaboración propia.

Se ajustó la separación de la empuñadura de la máquina universal de esfuerzo, luego se colocaron las lengüetas de las

mancuernas en los agarres de la máquina de ensayo para que la tensión se distribuyera uniformemente sobre la sección transversal. Se colocaron las probetas de espuma Ibero, manteniendo cada una de las 3 pruebas a una velocidad de  $500 \pm 50$  mm/min. Se registró la fuerza máxima, la tensión máxima y la deformación máxima.

#### Prueba de compresión

Se prepararon 3 muestras cilíndricas de la espuma Ibero con las mismas dimensiones, teniendo un grosor de 45 mm, como se muestran en la Fig. 4, obteniendo un volumen de  $394 \text{ cm}^3$ . Se utilizó la máquina universal de esfuerzo (Shimadzu), teniendo como referencia la norma ASTM D3574 [13]. Se colocaron cada una de las 3 muestras de espuma Ibero en la línea de la carga axial en la placa de soporte de la máquina universal. Este ensayo consistió en medir la fuerza necesaria para producir una compresión máxima en toda la zona superior de las muestras de la espuma Ibero. Se ajustó el pie de compresión a  $250 \pm 25$  mm/min.

Se determinó el grosor después de aplicar un contacto de carga en la zona de la muestra, el módulo elástico y se reportó mediante gráficos, los parámetros de deformación-tiempo y deformación-fuerza.



Fig. 4. Muestras espuma Ibero prueba de compresión. Fuente: elaboración propia.

### *Pruebas Físicas*

#### Pruebas gravimétricas y volumétricas

Se utilizaron 3 muestras de espuma Ibero mostradas en la Fig. 5 con un peso de 1.5 g y un volumen de  $7.7 \text{ cm}^3$ . Se dejaron las muestras en el horno de secado (Riossa, modelo H41) por un periodo de 24 horas a una temperatura de  $150^\circ\text{C}$ .



Fig. 5. Espumas antes del secado. Fuente: elaboración propia.

Para obtener cada una de las pruebas físicas, se determinaron las relaciones gravimétricas y volumétricas a partir del

protocolo de G. Guichard y A. Rebolledo [14]. En la Tabla 2 se muestran las propiedades y ecuaciones de dichas pruebas.

Tabla 2: Ecuaciones pruebas físicas [14].

Propiedad	Símbolo	Ecuación	Unidad	Rango
Relación de vacíos	$e$	$e = \frac{V_v}{V_s}$	-	$e > 0$
Porosidad	$n$	$n = \frac{V_v}{V} \times 100$	%	$0 < n < 100\%$
Grado de saturación	$G_w$	$G_w = \frac{V_g}{V_s} \times 100$	%	$0 < G_w < 100\%$
Contenido de agua	$w$	$w = \frac{w_w}{w_s} \times 100$	%	$0 \geq 100\%$
Peso volumétrico seco	$Y_d$	$Y_d = \frac{W_s}{V}$	$\frac{kN}{m^3}, \frac{Kg}{m^3}$	-

### Pruebas de resistencia

#### Prueba de intemperismo

Se utilizó una muestra cúbica de espuma con un volumen propuesto de 181cm<sup>3</sup> y un peso inicial de 61 g, la cual se dejó a la intemperie para poder estudiar su resistencia a las condiciones climatológicas del Estado de Puebla a una presión de 1atm. Monitoreando por un lapso de 31 días sus temperaturas y humedad máx. y mín., para así reportar su comportamiento respecto a la exposición solar.

#### Prueba de combustión

Para medir la inflamabilidad de la espuma Ibero, se utilizaron 3 muestras de espuma con un volumen de 22 cm<sup>3</sup> y un peso de 6g. Se realizó en una campana de extracción el montaje de cada muestra con un tripié, un soporte universal con pinzas de doble nuez para sujetar las muestras, sometiénolas a fuego directo a través de una llama proveniente de un mechero bunsen como se muestra en la Fig. 6. Se determinó el tiempo en el que empezó a inflamarse cada muestra de espuma Ibero, midiendo la temperatura superficial máxima alcanzada en el exterior e interior de cada muestra con un termómetro infrarrojo (EXTECH Instruments, modelo AN200), la temperatura interna con un termómetro de aguja (TEL TRUE), Por último, se midió el tiempo en el que tarda en combustionar la espuma.

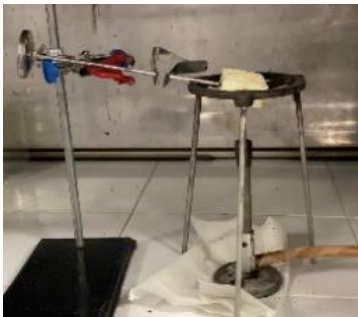


Fig. 6. Montaje prueba combustión. Fuente: elaboración propia.

### Prueba de sensor de alta presión

Para la elaboración de esta prueba se seleccionaron 3 usuarios con diferentes Índice de Masa Corporal (IMC) para observar el comportamiento de cada espuma con diferentes complejones. Se determinaron los IMC de los usuarios como se muestra en la Tabla 3 y se categorizaron los valores.

Tabla 3: Datos IMC usuarios seleccionados. Fuente: elaboración propia.

Datos IMC					
Usuario	Género	Estatura (m)	Peso (kg)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Clasificación IMC
1	Masculino	1.74	43	14.5	Bajo peso
2	Femenino	1.64	54	19.7	Peso Normal
3	Femenino	1.86	96	27.7	Sobrepeso

Esta prueba se realizó en tres bloques de espumas de 40x40x10 cm, (2 comerciales alta y baja densidad y la espuma Ibero), mostradas en la Fig. 7.

De acuerdo con la metodología descrita por el protocolo de Gildorf [17], cada usuario se sentó durante 30 minutos en cada una de las espumas en una silla de ruedas con una postura en la que la cadera y las rodillas tuvieran una flexión de 90°, el respaldo de la silla de ruedas se encontraba a 95°. Se tomó un mapa de presiones de acuerdo al protocolo de Terra Cushion Line [15], a través de un sensor de alta presión (Bodi Trak Pro) mostrado en la Fig. 8 para obtener la presión distribuida; dicho sensor se coloca entre el usuario y la espuma.



Fig. 7. Espumas empleadas prueba sensor alta presión. a) Espuma alta densidad. b) Espuma baja densidad. c) Espuma Ibero. Fuente: elaboración propia.



Fig. 8. Sensor de alta presión (Bodi Trak Pro). Fuente elaboración propia.

Para el análisis de estos mapas de presiones, se obtuvieron las siguientes variables al minuto 30: presiones máximas y



mínimas obtenidas al sentarse sobre cada asiento, el área de contacto, el índice de presión máxima y el índice de dispersión, que fueron comparadas con el fin de encontrar una espuma capaz de distribuir las presiones del asiento, evitando el desarrollo de las úlceras por presión.

## Resultados y Discusión

### Desarrollo espuma de poliuretano flexible “Espuma Ibero”.

Con los reactivos y cantidades utilizados en la Tabla 1, se tuvo un volumen inicial de 330 mL, tras pasar un periodo de expansión de la espuma Ibero, se obtuvo un factor de crecimiento del 1.5%, por lo que el producto final fue de  $500 \pm 25$  mL, con una densidad de  $0.336 \text{ g/cm}^3$ .

### Prueba de tensión

Se colocaron cada una de las 3 probetas de espuma Ibero, con un volumen de  $50 \text{ cm}^3$ , obteniendo una tensión de elongación de  $0.07 \text{ Mpa}$ , con un tiempo de rotura de 1.5 segundos.

En la Fig. 9 se muestran las probetas de la espuma Ibero colocadas en las mordazas de la máquina universal, se usaron mordazas de 0 a 8 mm y se ajustaron a un espesor de 3 mm debido a que la espuma es muy flexible y con un espesor mayor la muestra se comprimiría y no permitía la sujeción.



Fig. 9. Muestras de probeta espuma Ibero en la máquina universal. Fuente: elaboración propia.

Se muestran en la Fig. 10 el gráfico de los parámetros de la fuerza máxima ejercida para la rotura de la probeta de 19 N, con una tensión máxima de  $0.002993 \text{ N/mm}^2$ , y una deformación máxima de 25.37%. Se puede observar que la espuma Ibero se fracturó al poco tiempo, esto se debe a la composición que tiene, estando constituida por espacios vacíos y un alto porcentaje de volumen de gas, además se observó que las muestras no son homogéneas, debido a que cada una soportó una fuerza de deformación diferente.

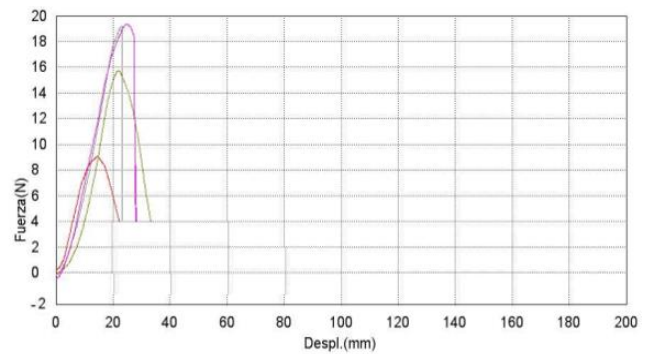


Fig. 10. Gráfico prueba de tensión, fuerza-desplazamiento. Fuente: software Máquina Universal Shimadzu (TRAPEZIUM X).

### Prueba de compresión

Se determinó el grosor de las muestras cilíndricas de la espuma Ibero siendo de 45mm después de aplicar un contacto de carga en la zona de la muestra, comprimiendo las muestras con una fuerza de 2700 N, con un tiempo aproximado de 10 segundos en cada prueba de compresión, como se muestra en la Fig. 11, se pudo observar la capacidad que posee la espuma de volver a su estado original después de haber soportado la fuerza mencionada, esto se debe a que es un material celular que tiene el mayor porcentaje de celdas abiertas que le permite que no pierda su estructura geométrica. Se obtuvo un valor de módulo elástico de  $6 \text{ N/cm}^2$ , que midió la resistencia de cada muestra a la deformación elástica.



Fig. 11. Muestra cilíndrica prueba de compresión espuma Ibero en la máquina universal. Fuente: elaboración propia.

Se muestran los gráficos obtenidos con los parámetros de deformación, fuerza y tiempo, basados en la norma ASTM D3574 [13]. En la Fig. 12 el gráfico deformación-tiempo, define los porcentajes de (65, 80 y 83) % de deformación máxima para las 3 muestras de espuma, demostrando que las espumas no se fracturan a pesar de su deformación y fuerza suministrada, también se puede observar que la deformación es proporcional al tiempo hasta el momento en el que los poros se cierran, indicando una deformación más rápida.

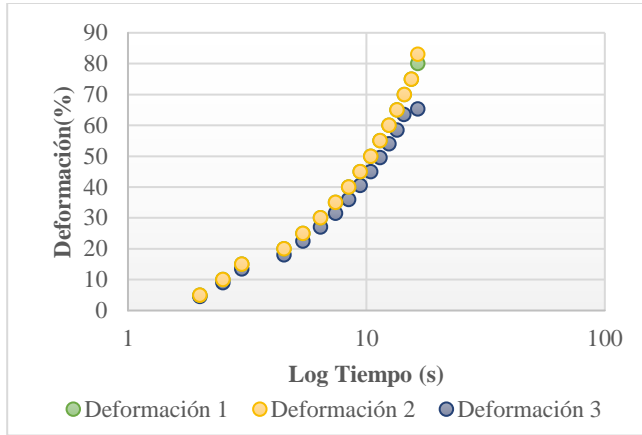


Fig. 12. Gráfico deformación- tiempo. Fuente: elaboración propia.

En la Fig. 13 el gráfico deformación-fuerza muestra que, en cada una de las 3 pruebas, las espumas no ceden al fallo, ni presentan fracturas, al contrario, mantienen su forma a pesar del incremento en su deformación, por lo que las espumas son resistentes a la prueba de compresión con un comportamiento elástico en las tres pruebas. Su deformación máxima alcanzada es de 83.85%

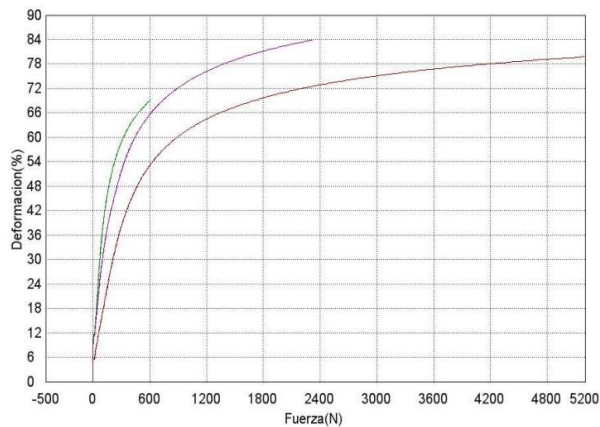


Fig. 13. Gráfico deformación-fuerza. Fuente: software Máquina Universal Shimadzu (TRAPEZIUM X).

#### Pruebas gravimétricas

Se pesaron las muestras observadas en la Fig. 14 las cuales tuvieron una pérdida de 0.06 g respecto a las iniciales.



Fig. 14. Muestras secas espuma Ibero. Fuente: elaboración propia

Se obtuvieron los valores para determinar las relaciones gravimétricas y volumétricas de la espuma Ibero, mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4: Valores de relaciones gravimétricas y volumétricas. Fuente: elaboración propia.

Datos	Valores
Volumen total ( $V$ )	7.7 cm <sup>3</sup>
Volumen de vacíos ( $V_v$ )	6.74 cm <sup>3</sup>
Volumen de gas ( $V_g$ )	6.68 cm <sup>3</sup>
Volumen de líquido ( $V_w$ )	0.06 cm <sup>3</sup>
Volumen de sólido ( $V_s$ )	0.96 cm <sup>3</sup>
Peso total ( $w$ )	1.5 g
Peso de gas ( $w_g$ )	0 g
Peso de líquido ( $w_w$ )	0.06 g
Peso de sólido ( $w_s$ )	1.44 g

Con base en los datos obtenidos se realizaron los cálculos de las propiedades físicas, presentados en la Tabla 5.

Tabla 5: Valores obtenidos de las propiedades físicas de la espuma Ibero. Fuente: elaboración propia

Propiedad	Cálculo	Resultado
Relación de vacíos	$e = \frac{6.74}{0.96}$	7.02
Porosidad	$n = \frac{6.74}{7.7} \times 100$	87.53%
Grado de saturación	$G_w = \frac{0.06}{6.74} \times 100$	0.89%
Contenido de agua	$w = \frac{0.06}{1.44} \times 100$	4.16%
Peso volumétrico seco	$Y_d = \frac{1.44}{7.7}$	0.187 $\frac{g}{cm^3}$

Los valores obtenidos en las relaciones presentadas en la Tabla 5, indican que la espuma Ibero cuenta con un valor muy alto de relación de vacíos y porosidad debido a la composición de la espuma respecto a las celdas abiertas, además presenta un peso volumétrico bajo que se relaciona con lo mencionado.

A mayor grado de saturación se presenta mayor contenido de agua, por lo que se observan valores de 0.89% y 4.16%, que muestra la relación que existe en los espacios vacíos, una porción ocupada por aire y otra por líquido.

#### Prueba de intemperismo

El gráfico de la resistencia al intemperismo de la espuma Ibero se muestra en la Fig. 15 del monitoreo durante 31 días bajo condiciones de temperatura y humedad relativa. A partir del promedio de temperaturas y humedades máximas y mínimas se generó el gráfico de los picos de comportamiento demostrando que, a mayor humedad, se presentaba un menor valor de la temperatura.

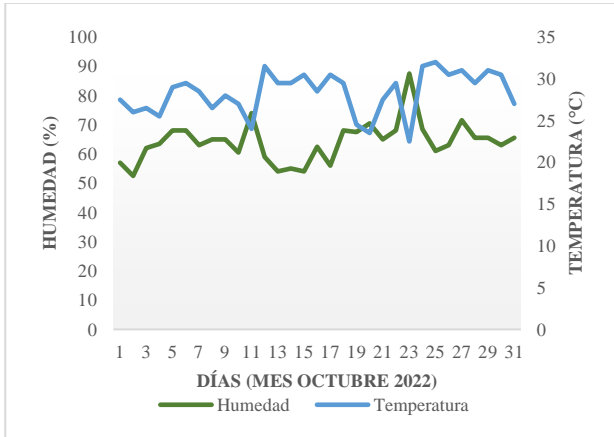


Fig. 15. Monitoreo de la espuma a condiciones de temperatura y humedad respecto al tiempo. Fuente: elaboración propia.

En la Fig. 16 se muestra el aspecto del cubo de espuma Ibero del día 1 y el cambio tras pasar los 31 días a la intemperie a las condiciones mencionadas.

El cubo de espuma pasó de tener un peso inicial de 61 g, a terminar pesando 88 g al final del mes, conservando su volumen inicial de 181cm<sup>3</sup>.

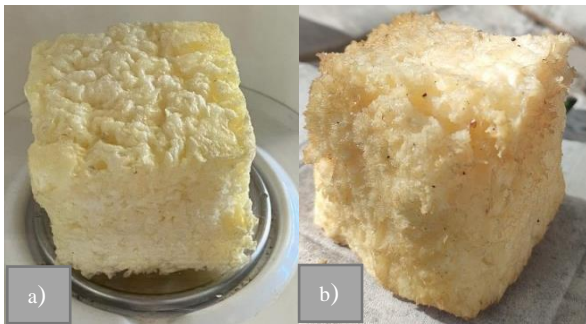


Fig. 16. a) Aspecto día 1 y b) Aspecto día 31, de la espuma Ibero. Fuente: elaboración propia.

El cubo de espuma Ibero presenta un cambio de coloración amarillento respecto a la muestra inicial de la final teniendo un aspecto denominado “scorching”, debido a la exposición a la luz solar, afectando el color de la muestra con el paso del tiempo. Al estar la espuma a la intemperie en condiciones de lluvias, significó un aumento de su peso debido a la capacidad de la espuma de absorber líquidos.

#### Prueba de combustión

La muestra de espuma Ibero presentada en la Fig. 17 empezó a inflamarse a los 3 segundos y el tiempo que tardó en realizar la combustión total fue de 3 min. 55 seg. La temperatura máxima alcanzada en el exterior de la espuma fue de 250 °C y en el interior de 130°C.

En la Fig. 18 se muestra la apariencia de las tres espumas tras haberse combustionado por completo. Comparando los resultados obtenidos con los reportados en la literatura para una espuma convencional [16], la cual presenta una temperatura de combustión en presencia del oxígeno de 225 °C, y una temperatura en el interior de 170 °C. Demostrando que las espumas de poliuretano tienen un alto grado de inflamabilidad, por lo que se recomienda, adicionar un

retardante de Parafina Clorada a la formulación, con el fin de disminuir la propagación de fuego, retrasando la aparición de llamas para la seguridad del usuario.

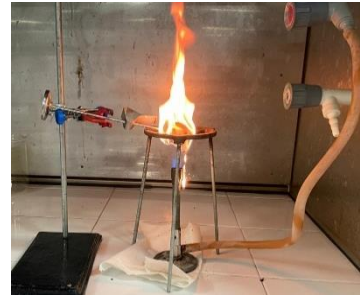


Fig. 17. Prueba de combustión espuma Ibero. Fuente: elaboración propia.



Fig. 18. Muestras de espuma Ibero tras la combustión total. Fuente: elaboración propia.

#### Prueba de sensor alta presión.

Se presenta una descripción, de las interpretaciones de las presiones ejercidas respecto a los 3 usuarios con los 3 tipos de espumas (espuma de baja densidad, espuma de alta densidad y espuma Ibero) mostradas en la Fig. 19 del mapeo con el sensor.

#### Espuma baja densidad

Para el análisis de mapeo de la espuma de baja densidad, se pueden observar zonas de mayor presión que tienen un color rojo que abarcan de 190-200 mmHg, se puede notar que los usuarios con bajo peso y sobrepeso presentan dicho problema.

- El usuario con bajo peso muestra las zonas de mayor presión en los isquiones bilaterales que abarcan las coordenadas [T-P11-13] y [M-I11-14] con un centro de gravedad localizado en [Q- P16].
- El usuario con peso normal muestra zonas de mayor presión en las zonas de los isquiones en las coordenadas [W-O17-22] y [L-E16-21], con un centro de gravedad localizado en [O-N20].
- El usuario con sobrepeso muestra las zonas de mayor presión en los trocánteros laterales que abarcan las coordenadas [BB-Y16-20] y [H-E24-27], con un centro de gravedad localizado en [S-R22].

#### Espuma Ibero

Para la espuma Ibero se pueden observar zonas de presión de color amarillo que abarcan de 138-169 mmHg, presentan presiones en el rango de color rojo como la espuma de baja densidad. Los usuarios de bajo peso y peso normal presentan



zonas de presión máxima de color amarillo mientras que el usuario con sobrepeso representa zonas de color rojo.

- d) El usuario con bajo peso muestra las zonas de mayor presión en los isquiones bilaterales que abarcan las coordenadas [L-J 11,12], con un centro de gravedad localizado en [P16].
- e) El usuario con peso normal muestra las zonas de mayor presión en los isquiones y coxis que abarcan las coordenadas [P- O19-20], [PO12 y J16], con un centro de gravedad localizado en [R20].
- f) El usuario con sobrepeso muestra las zonas de mayor presión en los isquiones y los trocánteros que abarcan las coordenadas [BB-Y16-20] y [H-E25-28], con un centro de gravedad localizado en [R21].

- h) El usuario con peso normal muestra las zonas de mayor presión en los isquiones y coxis que abarcan las coordenadas [X-T12-16] y de [M-K 12-15], con un centro de gravedad localizado en [R16].
- i) El usuario con sobrepeso muestra las zonas de mayor presión en los isquiones que abarcan las coordenadas [V18-20] y [T16-19], con un centro de gravedad localizado en [R20].

Después de analizar el mapeo de las 3 espumas en cada uno de los 3 usuarios, se pudo observar el cambio en la distribución de la presión y área de contacto en la espuma Ibero en para cada usuario con un IMC diferente, por lo que las presiones máximas se presentaron en menor proporción a las espumas comerciales. La presión en cada una de las espumas independientemente del usuario iba incrementando con el tiempo, debido a que las espumas iban venciendo debido al peso suministrado en el tiempo.

**Espuma alta densidad**

Para la espuma de alta densidad, se pueden observar zonas de mayor presión que tienen un color rojo que abarcan de 190-200 mmHg, se puede notar que los 3 usuarios presentan dicho problema.

- g) El usuario con bajo peso muestra las zonas de mayor presión en los isquiones que abarcan las coordenadas

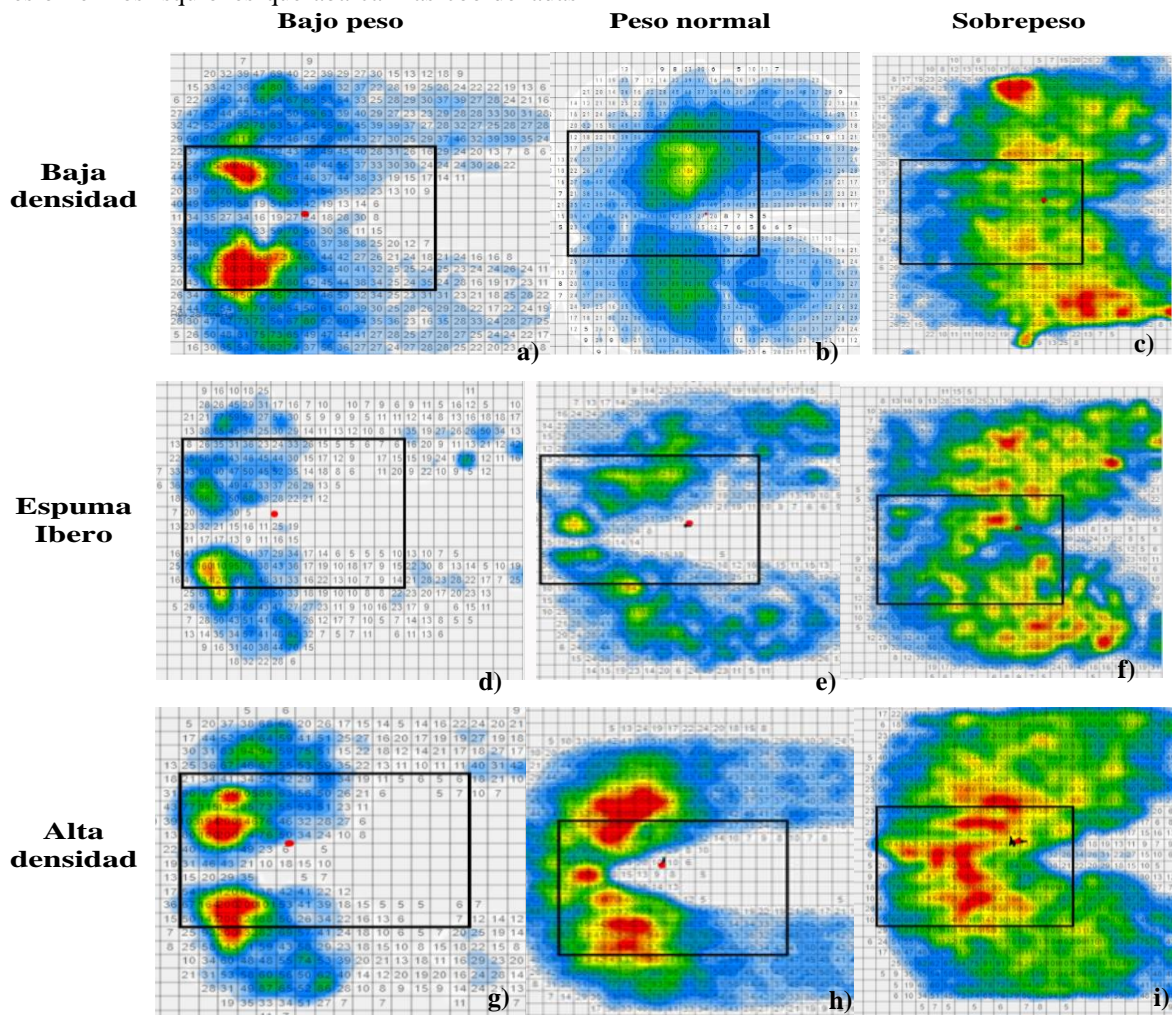


Fig. 19. Mapeo del sensor de altas presiones usuarios con diferente IMC, en una espuma de baja densidad, una de alta densidad y en la espuma Ibero. Fuente: elaboración propia.

Se obtuvo el valor de área de contacto respecto a los 3 usuarios propuestos con las 3 espumas mencionadas como se muestra en la Fig. 20, pudiendo determinar que, el usuario con bajo peso tiene un área de contacto menor que el usuario con sobrepeso que presenta un área de contacto mayor.

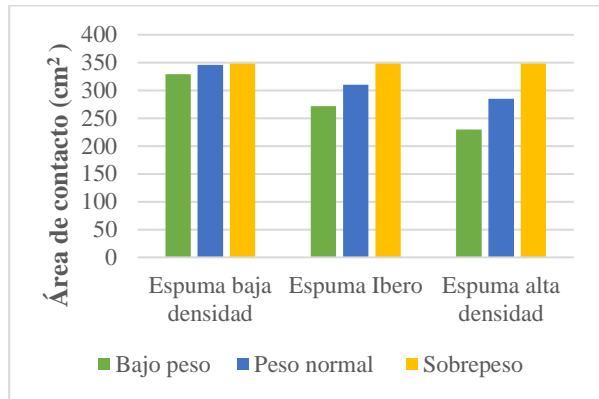


Fig. 20. Comparativo 3 espumas área de contacto de cada usuario de IMC bajo, normal y alto. Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la literatura, el índice de dispersión debe de tener un valor menor al 50% [15]; en la Fig. 21 se puede observar que éste disminuye respecto al aumento del IMC. El usuario con bajo peso presenta índices de dispersión muy altos, siendo el mayor valor de 52% con la espuma de alta densidad, en cambio el usuario con peso normal tiene valores por debajo del 50% y el de sobrepeso representa los valores más bajos. En la Fig. 21 se muestra un gráfico comparativo del índice de dispersión de las 3 espumas.

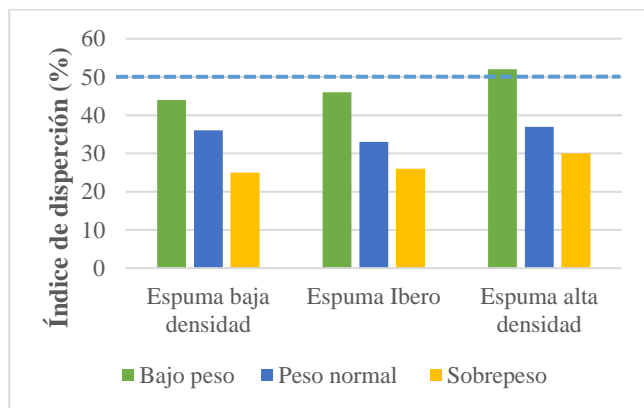


Fig. 21. Índice de dispersión de las 3 espumas. Fuente: elaboración propia.

La presión máxima reportada respecto a los 3 usuarios con las 3 espumas mencionadas, respecto a los valores obtenidos demuestra que el usuario de bajo peso presenta una presión mayor que los usuarios de peso normal y sobrepeso, esto se debe a la distribución de la fuerza sobre el área, es por eso que el usuario de menor peso presenta un alto valor de presión. En la Fig. 22 se muestra un gráfico de la presión máxima de las 3 espumas.

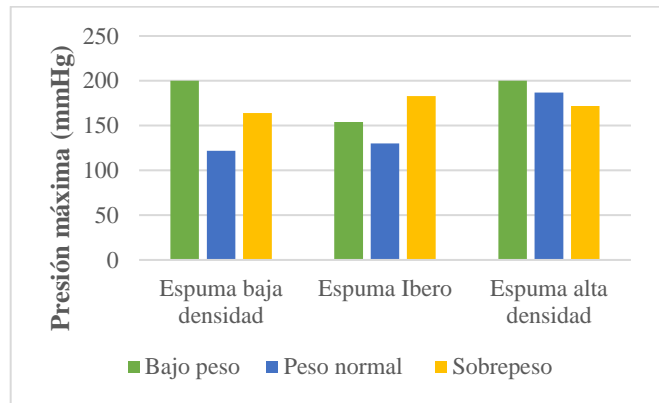


Fig. 22. Gráfico índice de presión máxima de las 3 espumas. Fuente: elaboración propia.

Por último, se hizo una comparación de la espuma Ibero con una espuma de poliuretano viscoelástica comercial Terra Cushion Line [15], con los valores de índice de dispersión (DI%) y presión máxima en mmHg, con los valores del usuario con sobrepeso, debido a que el peso se asemeja al de la prueba de [15], como se muestra en la Fig 23.

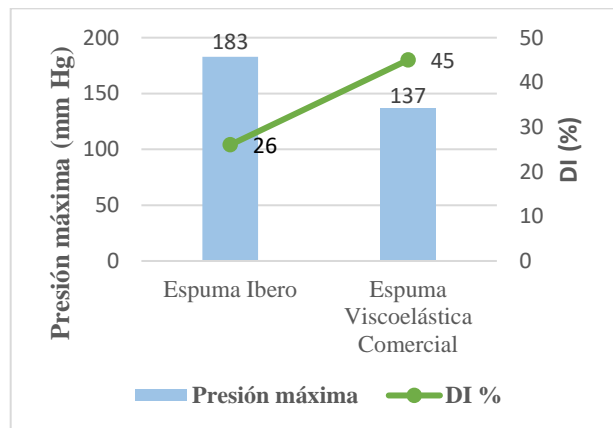


Fig. 23 Comparativa espuma Ibero con espuma viscoelástica de Terra Cushion Line. Fuente: elaboración propia.

Se obtuvo una presión mayor con la espuma Ibero respecto a la espuma viscoelástica comercial, teniendo una diferencia de 46 mmHg, aunque el índice de dispersión es menor en la espuma Ibero a comparación de la espuma viscoelástica comercial. El valor de la presión máxima influyó debido a que la espuma viscoelástica ya es un asiento con la anatomía de los glúteos y abductor de piernas, en cambio la espuma Ibero es un bloque. Es importante realizar nuevamente esta comparativa con el asiento de la Ibero una vez conformado, para así, tener un valor más objetivo.

**Conclusiones, perspectivas y recomendaciones**

La metodología propuesta permitió encontrar una formulación de espuma de poliuretano flexible que servirá para su aplicación en asientos conformados que ayudarán a usuarios con lesión medular. La aportación de la espuma Ibero mostró mejores resultados que las dos espumas

comerciales, beneficiando la disminución de úlceras por presión.

Los criterios seleccionados para definir las pruebas fueron determinantes para la evaluación de la espuma Ibero, los datos obtenidos en las pruebas mecánicas y físicas de la espuma Ibero, mostraron que se cuenta con una espuma elástica que tiene la capacidad de regresar a su forma inicial tras habersele suministrado una fuerza. Aunque presenta un valor bajo de esfuerzos de tracción al estar conformada por muchos espacios vacíos.

Al evaluar las pruebas de resistencia de la espuma Ibero se demostró que es un material muy inflamable por lo que se recomienda adicionar a la formulación, un retardante, para la seguridad del usuario. También se recomienda el uso de una funda protectora de algodón transpirable, que disminuya el

desgaste y proteja al usuario, para reducir el cambio de coloración amarillento.

Por otro lado, el uso de un impermeabilizante para disminuir la capacidad de absorción de la espuma Ibero, en caso de que el usuario presente alguna incontinencia.

Es importante mencionar que, aunque el asiento demostró reducir la presión en un área de contacto, se recomienda al usuario realizar las técnicas de liberación de presión en el tren inferior. El cuidado de la piel es importante, por lo que se debe de mantener seca e hidratada, incluyendo una dieta hiperproteica, hipercalórica, alta en Arginina, Zinc y Vitamina C que ayudaría a la reconstrucción muscular, de acuerdo a las indicaciones médicas.

## Referencias

1. S/A (Redacción). **Principal sector de la población con discapacidad en México.** *Cuentame. INEGI.* 2020 <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/discapacidad.aspx#:~:text=De%20acuerdo%20con%20el%20Censo,mujeres%20y%2047%20%20son%20hombres> (Activo septiembre de 2022).
2. D. Gayol. **Diseño y evaluación de asientos preventivos de úlceras por presión para lesionados medulares.** *Trabajo de fin de máster, Univ. Iberoamericana, México, 2014.* <https://www.medigraphic.com/pdfs/revinvcli/nn-2014/nns141g.pdf> (Activo septiembre de 2022)
3. J. Savala. **Bioética y cuidado de las úlceras,** *tesis doctoral, Univ. Cantabria, 2015.* <https://scielo.isciii.es/pdf/geroko/v22n4/helcos2.pdf> (Activo septiembre de 2022)
4. Bolívar. **La tecnología en rehabilitación favorece la inclusión.** *Iniat.* 2019. <https://iniat.ibero.mx/citer> (Activo septiembre de 2022).
5. J. Torres. **Diseño del sistema de soporte para ayudar a evitar úlceras por presión en pacientes que padecen confinamiento prolongado en cama.** *Tesis doctoral, Univ. Autónoma metropolitana, Azcapotzalco, 2022.* <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/8447> (Activo octubre de 2022)
6. Synthesia Technology. **Aplicaciones del poliuretano en el sector industrial,** 2022. <https://www.synthesia.com/sistemas-pu/poliuretano> (Activo septiembre de 2022).
7. A. Correo. **Deformación para espuma flexible de poliuretano de baja resiliencia.** *tesis doctoral, Univ. de los Andes, Bogotá, 2013.* <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/9299/u239302.pdf> (Activo octubre de 2022)
8. P. Caracciolo. **Poliuretanos biomédicos: síntesis, propiedades, procesamiento y aplicaciones.** *Trabajo de fin de máster, Univ. de Coímbra, Portugal, 2015.* [https://www.researchgate.net/publication/292995884\\_Poliuretanos\\_Biomedicos\\_Sintesis\\_Propiedades\\_Procesamiento\\_y\\_Aplicaciones](https://www.researchgate.net/publication/292995884_Poliuretanos_Biomedicos_Sintesis_Propiedades_Procesamiento_y_Aplicaciones) (Activo octubre de 2022)
9. M. Sarmiento. **Producción de espuma flexible de poliuretano con celda grande y abierta.** *Trabajo de fin de máster, Univ. de los Andes, 2007.* <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/23572/u302925.pdf?sequence=1> (Activo octubre de 2022)
10. D. Ribero. **Caracterización mecánica de materiales poliméricos y materiales poliméricos compuestos. Caso espuma de poliuretano con refuerzo de fluidos no newtonianos.** *Tesis doctoral, Univ. de los Andes, Bogotá, 2016.* <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/15201/u754400.pdf> (Activo septiembre de 2022)
11. S/A (Redacción). **Las propiedades físicas de la espuma de poliuretano.** *Termiser 2015.* <http://termiserprotecciones.com/propiedades-fisicas-de-la-espuma-de-poliuretano/> (Activo octubre de 2022).
12. M. Encinas, A. Moreno. **Formulación de una espuma de poliuretano dirigida a usuarios en silla de ruedas.** *Trabajo servicio social, Univ. Iberoamericana, Puebla, 2022.*
13. Designation: D3574 – 1. **Standard Test Methods for Flexible Cellular Materials—Slab, Bonded, and Molded Urethane Foams.** <https://www.astm.org/d3574-11.html> (Activo octubre de 2022.)
14. G. Guichard y A. Rebolledo, **Manual de Diseño de Obras Civiles.** *Mecánica de suelos CFE, México, 2017.*
15. Terra Cushion Line. **Ottobock human mobility products of wheelchairs.** *Ottobock.* 2021. <https://www.ottobock.com/en-in/solutions/wheelchair> (Activo octubre de 2022).

16. VALCOM. **Flamabilidad de las espumas de poliuretano.** VALCOM, 2020.<https://valcom.com.mx/flamabilidad-de-las-espumas-de-poliuretano/> (Activo octubre de 2022).
17. P. Gilsdor y R. Patterson. **Thirty-minute continuous sitting force measurements with different support surfaces in the spinal cord injured and able-bodied.** *Journal of Rehabilitation Research and Development.* vol.28, no.4,1991.<https://experts.umn.edu/en/publications/thirty-minute-continuous-sitting-force-measurements-with-different> (Activo noviembre de 2022)