

Construcción del simulador

Vértebras

Para la construcción de la columna se utilizaron cinco vértebras lumbares de plástico PET impresas en 3D en tamaño natural. Sobre las vértebras L2, L3, L4 y L5 se realizaron diferentes tratamientos para lograr el sensado de las mismas.

Tratamiento: Pintura

En primer lugar, se aplicó una capa de pintura sintética a fin de sellar los orificios o imperfecciones producidas por la impresión 3D. Luego, se aplicaron dos capas de pintura de cobre (Imagen 1) para favorecer la electrodeposición, un tratamiento electroquímico en el cual se apegan los cationes metálicos contenidos en una solución acuosa para ser sedimentados sobre un objeto conductor creando una capa de mayor espesor y resistencia.



Imagen SEQ Imagen 1*
ARABIC 1 - Pintura de
cobre

Tratamiento: Electrodeposición

Para realizar este tratamiento, el ánodo y el cátodo de la celda se conectaron a un suministro externo de corriente continua. Ambos se sumergieron en una solución de 80% agua y 20% ácido muriático. Se conectó la vértebra (cátodo) al terminal negativo de una fuente de corriente continua de aproximadamente 18v. En el terminal positivo se conectó un trozo de cobre (ánodo) para ir aportando iones a la solución a medida que se oxida sustituyendo a los que se están consumiendo en la reacción electroquímica. El tratamiento se realizó durante 20 minutos.



Imagen 2 - Electrodeposición de cobre sobre
vértebra

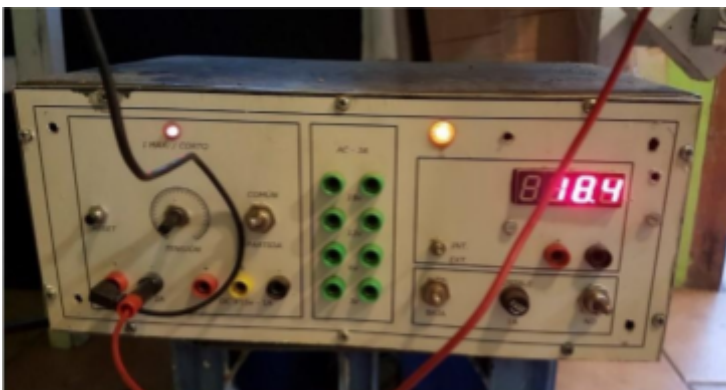


Imagen 3 – Fuente regulada de corriente continua

Tratamiento: Cableado

Luego de realizar la electrodeposición sobre las vértebras se colocaron cables en cada una de ellas de modo que cada cable esté conectado a la vértebra y sector correspondiente. Dichos cables fueron conectados más tarde en el sistema embebido para obtener información en tiempo real de los eventos que ocurren sobre las vértebras.

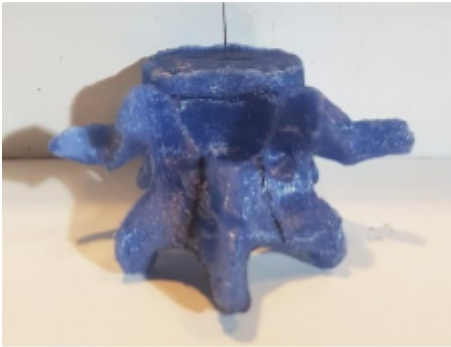


Imagen 4 – Vértebra L4 impresa en 3D



Imagen 5 – Vértebra L4 con pintura de cobre



Imagen 6 – Vértebra L4 luego del proceso de electrodeposición

Tratamiento: Sectorización

Las vértebras L3 y L4 fueron sectorizadas con una trincheta para con el objetivo de obtener información más precisa sobre el área específico de la vértebra que se está rozando, lo cual permite brindar información más orientativa al practicante.



Columna vertebral

Junto a la cadera y los discos intervertebrales (también impresos en 3D), se fijaron las cinco vértebras lumbares con tornillos parker a una planchuela metálica que funcionó a modo de eje.

Más tarde, la columna vertebral se ensambló con tornillos en una base construida con madera.



Base de madera

Se construyó una base de madera para fijar la columna vertebral y alojar los diferentes componentes del cuerpo.

Dimensiones de la base de madera

- A. 20
- B. 23
- C. 23
- D. 44
- E. 44



Luego, la base fue lijada y pintada de color blanco.



Para darle más estabilidad a la base y que al momento de realizar la práctica se mantenga firme, se agregó una pata de madera acoplada a la base con un tornillo y una tuerca mariposa, para que sea fácilmente desacoplable.



Antes de ensamblar la columna, se colocó un telgopor de 30 x 32 x 5 cm entre el fondo de la base de madera y la estructura y también goma espuma de 30 x 30 x 3 cm a los lados de la columna, para darle más contextura al muñeco.



Duramadre

Para simular la duramadre, se colocó un tubo de látex de 8 mm de diámetro interior y 12 mm de diámetro exterior, recubierto con goma EVA y una capa de virulana, simulando ser la duramadre. Posteriormente, se conectó la capa de virulana al sistema embebido mediante un cable.



Líquido ceforraquídeo

Para simular el líquido ceforraquídeo se utilizó una botella de suero con agua destilada. La misma fue conectada al tubo de látex que simula ser la duramadre.



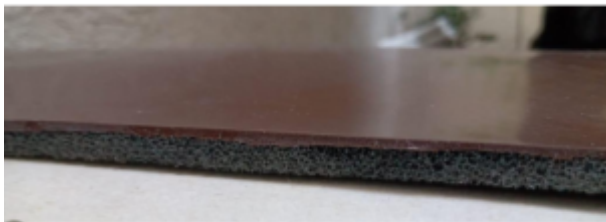
Tejido adiposo

Para simular el tejido adiposo, se utilizó gomaespuma de 30 x 30 x 3 cm. La misma se caló con una trincheta de manera que recubra las vértebras. También, se agregó una capa de goma EVA y virulana para lograr el sensado de esta capa.



Piel

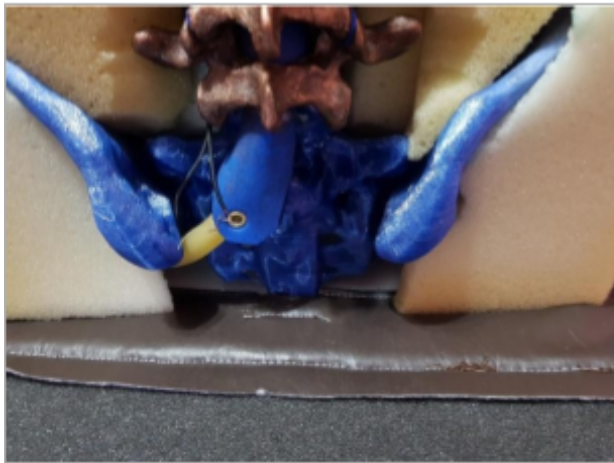
Para la simulación de la piel se utilizó caucho de silicona RTV 820 de 56 cm x 38 aproximadamente junto con goma espuma de 0.5 cm de espesor. A la capa de goma espuma se le agregó virulana para lograr el sensado interno en el sistema embebido.



Para lograr abrir y cerrar fácilmente esta capa se colocaron abrojos a los lados de la base de madera con la intención de hacer llegar a ellos la piel manteniéndola tensada.



Para esto se cosió una franja de cuerina a la piel, la cual sirve como refuerzo para disminuir la tensión entre la piel y el hilo, evitando que esta se rasgue. Además, la cuerina se utilizó para moldear el cuerpo.



Sistema embebido

La conexión al sistema embebido se realizó en la sección trasera de la base de madera. Como placa base se utilizó Arduino UNO.



Conexiones

Cada vértebra, el tejido adiposo y la duramadre se conectaron de manera directa a los puertos del Arduino que se detallan a continuación, ya que éstos se configuraron en modo *INPUT_PULLUP*. La capa de virulana correspondiente a la piel se conectó al puerto *GND* del Arduino, de manera que, cuando la aguja tome contacto con ésta capa y más tarde con alguna de las vértebras y/o el resto de las capas, las mismas puedan ser detectadas por el Arduino.

