

conceptos cumple completamente con el criterio, (0) indica una posición neutral, y (-) indica que no cumple con el criterio establecido.

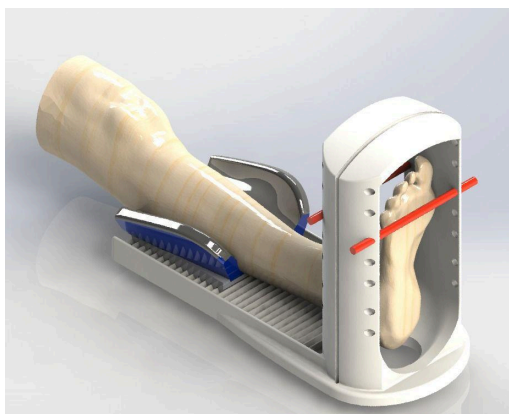
Una vez valorados, los conceptos se ordenaron sumando los puntajes ponderados para identificar los más prometedores de manera objetiva. En esta etapa, se podrían eliminar características negativas de los conceptos menos favorables y combinar las mejores cualidades de los conceptos más prometedores. En este caso particular, no se realizaron combinaciones de conceptos y se determinó que el concepto "gris" fue el elegido debido a sus métodos de despliegue y sujeción. Evaluando aspectos como la fabricación, el grupo de trabajo concluyó que esta alternativa también sería la más fácil de fabricar. Se decidió nombrar este concepto como "dispositivo de control elástico del tobillo" la matriz de selección se muestra a continuación (**Tabla 4**).

**Tabla 4.** Matriz de selección de conceptos.

Criterios de selección	A	B	C
	Gris	Azul claro	Turquesa
Rápido despliegue	+	-	0
Adaptabilidad a ambos tobillos	-	-	+
Resistencia a caídas	0	-	+
Sujeción a extremos de la camilla	+	0	-
Método de resistencia	+	+	0
Control de resistencia	+	+	-
Limpieza y desinfección	+	-	+
Seguridad del paciente	0	+	+
Aislamiento del movimiento	+	0	-
Suma +	6	3	4
Suma 0	2	2	2
Suma -	1	4	3
Evaluación neta	5	-1	1
Lugar	5	-1	1

## 6. Arquitectura de producto.

“**TobRM**” es un dispositivo biomédico compatible con resonancia magnética, desarrollado para limitar los movimientos de la rodilla y la pierna en general, de manera que sea posible evaluar la activación cerebral generada únicamente por la articulación del tobillo.



**Figura 3.** Simulación 3D del dispositivo.

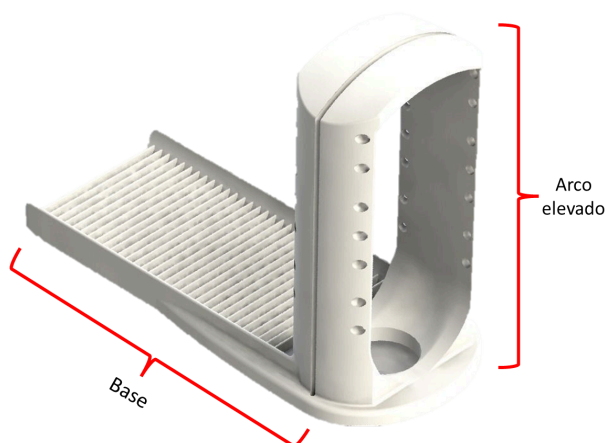
El dispositivo cuenta con los siguientes componentes:

**a. Estructura principal.**

Está fabricada con material PET debido a su durabilidad y resistencia a los agentes químicos; su diseño brinda soporte desde la región posterior de la pierna hasta la región calcánea (**figura 3**). Posee ranuras sobre la base en las cuales se instala la almohadilla y cuenta con un arco rectangular elevado que en sus laterales tiene 14 pares de orificios dispuestos para ubicar las bandas elásticas a diferentes alturas según sea necesario, teniendo en cuenta el tamaño del pie del paciente que se vaya a examinar.



**Figura 4.** Regiones de soporte abarcadas por el dispositivo.

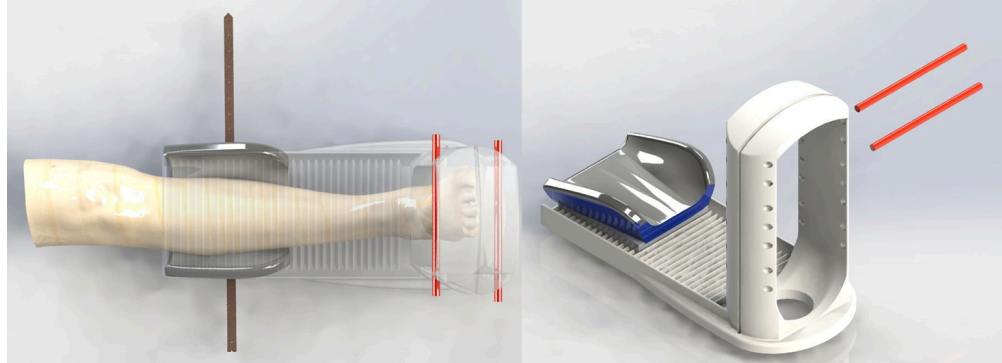


**Figura 5.** Partes de la estructura principal.

**b. Bandas elásticas.**

Bandas con una resistencia de 5 kg, fabricadas con un 50% de látex y un 50% de caucho, ofrecen una elasticidad variable para realizar una estimulación controlada de la articulación. Están diseñadas para anclarse a los orificios laterales del arco elevado y ser posteriormente ajustadas según sean las condiciones específicas del examen,

teniendo en cuenta que entre más ajustadas estén, mayor la será la resistencia y por ende, el paciente deberá ejercer una mayor fuerza al momento de realizar el movimiento del tobillo.



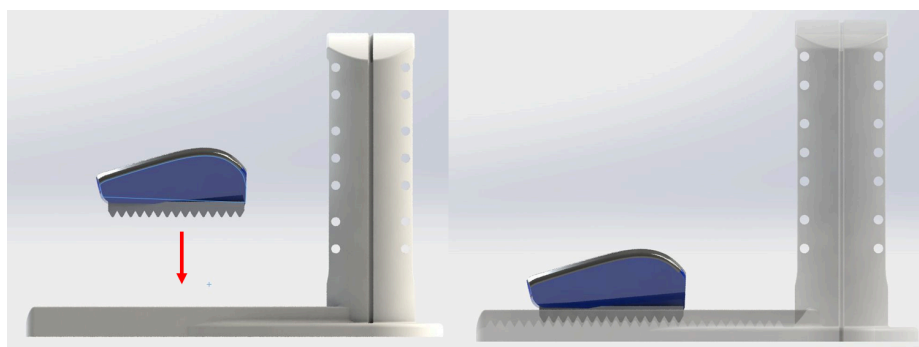
**Figura 6.** Ubicación de las bandas elásticas.

**c. Sistema de seguridad.**

Correas con seguro plástico de rápida liberación que facilita la colocación y remoción del dispositivo de manera eficiente. Las correas aseguran la pantorrilla del paciente al dispositivo, inmovilizando la zona para asegurar que no hayan errores e inexactitudes en los resultados de la prueba.

**d. Almohadilla y soporte.**

Fabricada con espuma de poliuretano, debido a que garantiza la comodidad y el soporte adecuado, reduciendo la presión y el malestar en el tobillo durante el uso prolongado del dispositivo.



**Figura 7.** Ubicación de la almohadilla en las ranuras de la base del dispositivo.

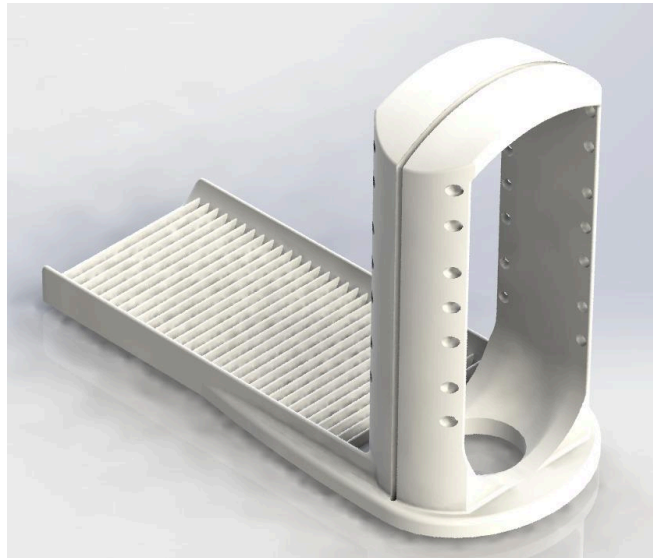
**7. Diseño detallado.**

Para la estructura principal del dispositivo, se ha seleccionado PETG, un material con una resistencia de 2.96 GPa (2960 MPa), una temperatura de extrusión de 220-250°C, una densidad de 1.27 g/cm<sup>3</sup>, una resistencia a la flexión de 60-70 MPa, una resistencia a la tracción de 50-60 MPa y un porcentaje de deformación a rotura de 6%. Las bandas elásticas

serán de goma de látex, con un módulo elástico de 0.0015 - 0.0025 GPa y una resistencia a la tracción de 22-32 MPa.

### **Geometría de los Subsistemas**

El primer subsistema es la estructura principal, diseñada para impresión 3D, con dimensiones generales adaptables para diferentes pacientes y una tolerancia dimensional de  $\pm 0.03$  mm.



***Figura 8.** Modelo CAD de la estructura principal*

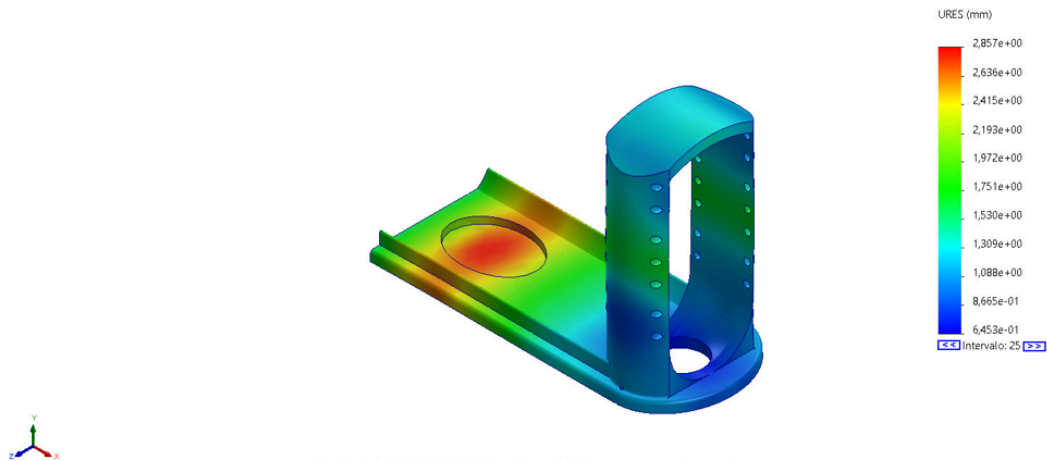
El segundo subsistema son las bandas elásticas, diseñadas para ser fijadas en puntos estratégicos de la estructura, con un diámetro de 55 mm y una resistencia variable inicial de 5 kg. Finalmente en cuanto a el último subsistema, que es el de sujeción, incluye broches de liberación rápida con una fuerza de 2 a 4 Newtons

### **Cálculos y Especificaciones**

En SolidWorks, se evaluó la estructura mediante una simulación de caída desde 1 metro, obteniendo resultados que indican desplazamientos y tensiones máximas.

En esta simulación y haciendo uso del modelo de la estructura principal y una altura de caída de 1 metro, los resultados mostraron tensiones máximas de 5260 psi (aproximadamente 36.25 MPa) y desplazamientos máximos de 2.857 mm. Estos datos confirman que el material PETG seleccionado soporta las tensiones y desplazamientos esperados sin fallar.

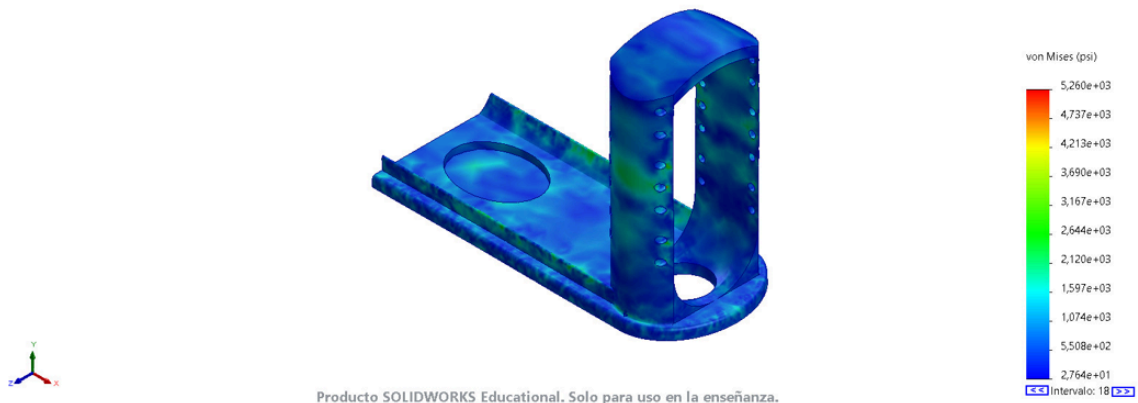
Nombre del modelo: Arco  
Nombre de estudio: Calda 1(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Desplazamientos1  
Intervalo: 25 tiempo: 999,999 Microsegundos  
Escala de deformación: 1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

**Figura 9.** Resultados de desplazamientos de la estructura principal

Nombre del modelo: Arco  
Nombre de estudio: Calda 1(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Tensiones1  
Intervalo: 18 tiempo: 719,98 Microsegundos  
Escala de deformación: 1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

**Figura 10.** Resultados de las tensiones de la estructura principal

## Prototipo

Para el primer prototipo físico presentado, se hizo uso de láminas de madera y se utilizó la técnica de cortado láser para poder darle la forma deseada. Adicionalmente, las bandas que se utilizaron fueron bandas tubulares de resistencia, normalmente utilizadas para ejercicio físico.