

## Diseño de una férula de tracción.

Luisely Algarra<sup>a</sup>, Juan Sánchez<sup>a</sup>, Brizeida Gámez<sup>\*,a</sup>, Luis Valera<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Centro de Biomecánica, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

<sup>b</sup>Servicio de Traumatología, Hospital Universitario "Dr. Ángel Larralde", Valencia, Venezuela.

---

### Resumen.-

Se presenta el diseño de una férula de tracción para ser utilizada en el tratamiento de fracturas de fémur en el servicio de traumatología del Hospital Universitario Dr. Ángel Larralde. Para tal fin se emplean criterios anatómicos, antropométricos y funcionales orientados a optimizar el dispositivo en relación con los usados actualmente. El estado de esfuerzos y desplazamientos generados se obtiene a partir de la utilización de un programa basado en el Método de los Elementos Finitos, específicamente ABAQUS v6.9.3-EF1, de igual manera se hace uso del cálculo analítico para determinar las condiciones de seguridad que ofrece el dispositivo. Una vez concluido el diseño de la férula se procedió a su fabricación para luego obtener una evaluación médica de su funcionalidad y adaptación en el paciente.

**Palabras clave:** Férula de tracción, Fractura, Método de Elementos Finitos.

## Design of a leg traction splint.

### Abstract.-

The design of a leg traction splint for use in the treatment of femur fractures in the trauma unit at University Hospital Dr. Ángel Larralde is presented. For this purpose, functional and clinical criteria were used to aimed at optimizing the device relative to those currently used. The stresses and displacements was obtained using a program based on the Finite Element Method, specifically ABAQUS, likewise makes use of the analytical calculation to determine the security offered by the device. Once the design of the splint proceeded to manufacture and then obtain a medical evaluation and adaptation functionality into the patient.

**Keywords:** Traction splint, Fracture, Finite Element Method.

Recibido: Noviembre 2012

Aceptado: Marzo 2013

### 1. Introducción.

Las fracturas que requieren inmovilización previa a la intervención quirúrgica son las localizadas en el fémur y en la tibia, tratándose además de las lesiones más comunes que sufren los pacientes que acuden al Hospital Universitario Dr. Ángel Larralde (HUAL), quienes presentan una

sintomatología de gran dolor, situación que se acentúa al no estar en la posición adecuada.

Cuando los pacientes presentan patologías que impiden que la cirugía se considere como opción para el tratamiento de la fractura, la acción más recomendado es la inmovilización para el cuidado de los tejidos blandos, la cual tiene como fin evitar movimientos a nivel de la lesión así como corregir el desplazamiento de la parte afectada.

La inmovilización de la fractura es un procedimiento que tiene como propósito evitar que el hueso lesionado se desplace y que además de acrecentar el dolor, pueda producir complicaciones tales como lesiones en los tejidos musculares,

---

\* Autor para correspondencia

Correo-e: brizeida.gamez@gmail.com (Brizeida Gámez)

nervios o vasos sanguíneos circundantes puede realizarse con férulas, que son dispositivos externos rígidos que se fijan al miembro afectado manteniendo la postura deseada [1].

En los centros de salud pública se utilizan sistemas rudimentarios no regulables al peso y talla del paciente, la base de éstas férulas colocada sobre la cama, no posee una superficie rígida plana y la acción de su peso contra el colchón genera el hundimiento del mismo; adicionalmente, utilizan cualquier objeto como contra peso para realizar la carga de tracción, no cuentan con almohadilladas del material adecuado en la zona donde se apoya el miembro generando úlceras por presión ni poseen apoyo en la zona del pie que permita que el pie del lesionado se mantenga recto. En las Figuras 1 y 2 se muestra las condiciones en las que se encuentra una férula utilizada actualmente en el HUAL.

Todo lo anterior indica la utilización de dispositivos que no proporcionan las condiciones óptimas para el paciente, razón por la cual el Centro de Biomecánica de la Universidad de Carabobo conjuntamente con el Servicio de Traumatología del HUAL proponen una investigación orientada al diseño de una férula de tracción para lesiones a nivel del fémur de un adulto promedio empleando criterios de ergonomía y funcionalidad, que permita tratar a pacientes de diferentes tallas, de producción local y con materiales comercializados en el país, a manera de generar soluciones eficientes a los problemas de salud pública.



Figura 1: Férula de tracción utilizada actualmente en el HUAL [2].



Figura 2: Condiciones actuales de la férula de tracción usada actualmente en el HUAL [2].

## 2. Metodología.

### 2.1. Revisión bibliográfica.

Para llevar a cabo el diseño de la férula se requiere conocer los aspectos anatómicos del fémur y de la tibia, así como las características antropométricas de un paciente adulto, requeridas para el dimensionamiento del dispositivo. De igual manera, se evalúan las condiciones de funcionamiento de los dispositivos estabilizadores para miembro inferior.

### 2.2. Planteamiento de soluciones.

Posteriormente, se proponen tres modelos de férula (ver Figuras 3, 4 y 5) en función de las características esperadas y de las limitaciones asociadas a la solución. Específicamente, se pretende obtener un dispositivo para tratar fracturas de fémur, ergonómico y adaptable a distintas longitudes de pierna, de mínimo mantenimiento y ligero, ya que será manipulado y trasladado por el personal médico del HUAL. Así mismo, se plantea que la férula debe ocupar un área menor a 0,95 m de largo por 0,45 m de ancho a manera que pueda adaptarse a una cama hospitalaria estándar, adicionalmente, debe permitir que el paciente mantenga al fémur del paciente con un ángulo de  $45^\circ$  respecto a la cama, debe poseer una base rígida y plana capaz de mantenerse en equilibrio y permitir que el pie del paciente se mantenga completamente recto.

En base a las restricciones y criterios establecidos, se selecciona la solución que más se adecue a los requerimientos.

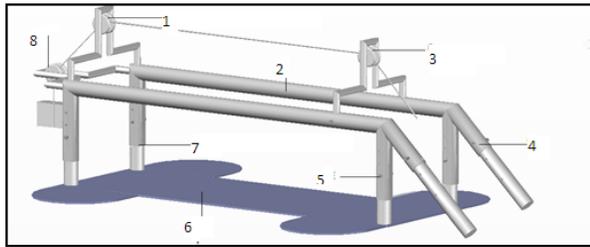


Figura 3: Modelo propuesto nro.1 [2].

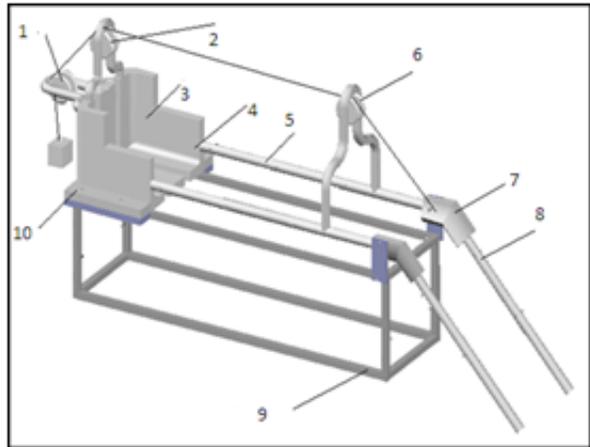


Figura 4: Modelo propuesto nro.2 [2].

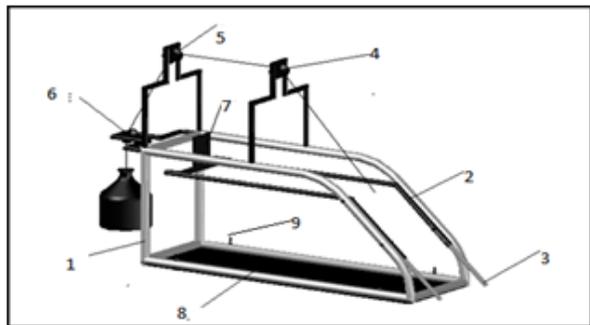


Figura 5: Modelo propuesto nro.3 [2]

### 2.3. Condiciones de contorno.

Con la solución seleccionada se establecen las dimensiones (geometría), materiales y condiciones de contorno para la férula, suponiendo dos posiciones críticas de operación. Seguidamente, se procede a determinar el estado de esfuerzos y desplazamientos, utilizando un programa basado en el Método de Elementos Finitos (MEF), específicamente Ab aqus v6.9.3-EF1.

### 2.4. Cálculo analítico.

Adicionalmente se lleva cabo el cálculo para el factor de seguridad y los aspectos referentes a la unión soldada a partir del procedimiento analítico empleado para el diseño de elementos mecánicos.

### 2.5. Especificaciones del dispositivo diseñado.

Con los resultados obtenidos es posible determinar el factor de seguridad de cada uno de los elementos que constituyen la férula. Una vez verificada las condiciones del diseño, a partir del resistencia del material y los esfuerzos a los cuales se supone debe someterse, se procede a indicar los detalles para la fabricación con ayuda del personal especializado. Con la férula construida se procedió a evaluar su funcionalidad y condiciones de operación por parte de un médico especialista del servicio de traumatología del HUAL.

## 3. Resultados.

### 3.1. Solución propuesta.

En la Figura 6 se muestra el modelo seleccionado para la férula, el cual está conformado por una estructura tubular de 1" identificada como **9**, unida a través de pernos **8** a una base plana **7** que se fija a la cama clínica. Por otra parte, la estructura **9** se une a dos tubos laterales **6** inclinados a 45°, sobre los cuales tiene la posibilidad de deslizarse un conjunto de tubos móviles **5** con dieciséis perforaciones que permiten adaptar la férula a diferentes posiciones, dependiendo de la estatura del paciente; adicionalmente, este conjunto tiene la función de soportar directamente la malla de gasa donde reposa el miembro a tratar. El sistema que le otorga la función de ejercer la tracción a 45°, independientemente de la talla de pierna, en el miembro está constituido por un conjunto de elementos de poleas **4**, **2**, y **1** a través de los cuales se suspende un contrapeso colocado por el médico tratante. Un componente adicional de la férula está representado por el soporte de pie **3** que permite una posición apropiada para el pie del paciente durante el período que el paciente utilice la férula con lo cual se previenen lesiones posteriores.

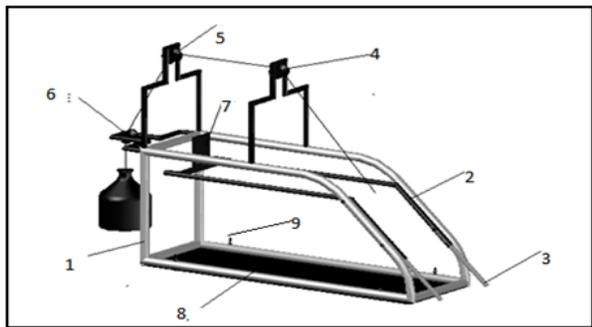


Figura 6: Férula de tracción [2].

En relación al material a emplear para este dispositivo, se ha estimado el uso un acero inoxidable 316 L debido a que el mismo presenta resistencia a la corrosión, alta resistencia mecánica y se comercializa en el país. En la Tabla 1 se indican las propiedades mecánicas del material propuesto.

Tabla 1: Propiedades mecánicas del acero inoxidable 316 L [3].

Aleación de acero inoxidable	Límite Elástico a la tensión (2 %) (MPa)	Resistencia máxima a la tensión (MPa)	% Elongación (2 in)	Dureza Brinell HB
316 L	310	620	50	85

3.2. Análisis de esfuerzos.

Para determinar los esfuerzos presentes en la férula, se supone una condición de carga estática, basada en el peso del miembro inferior descansando en la malla de gasa que soportan los tubos móviles y por tanto transmite directamente su efecto. Por otra parte, existen cargas producto de la tracción por medio de las poleas y son trasladadas a través de los pernos a los soportes y a la estructura. Para tales condiciones se supone un estudio para un paciente con las siguientes características: 42 cm de longitud de fémur, 46 cm de longitud de tibia y 120 Kg de peso. Se emplea una la relación de peso entre los miembros inferiores y el resto del cuerpo de 65 % del peso corporal total, por lo cual cada pierna representa un 32,5 % del peso total, por ende una persona de 120 kg, el peso de cada pierna es de 27,08 kg.

Una vez obtenido el peso de cada pierna, se asume una distribución del peso de 70-30 (%) del fémur y la tibia respectivamente, por lo tanto se tiene que: 19Kg para el peso del muslo y 8,2Kg para el peso de la pantorrilla.

En la Figura 7 se presenta el diagrama de cuerpo libre para determinar las reacciones utilizadas en el análisis.

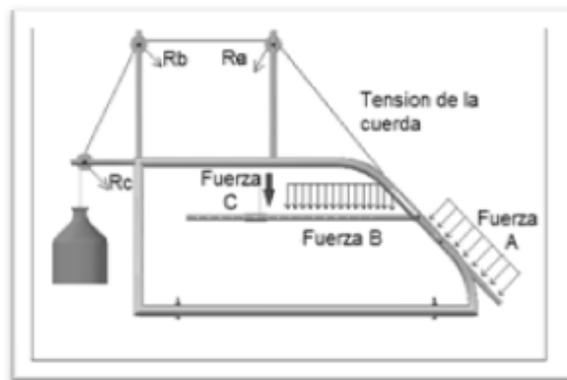


Figura 7: Diagrama de fuerzas presentes en la férula [2].

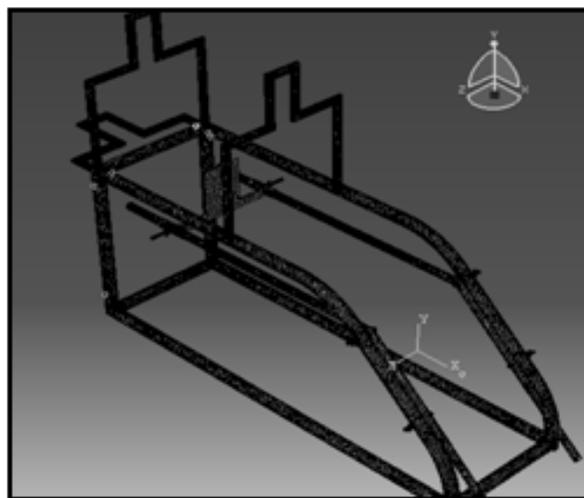


Figura 8: Discretización del modelo de férula utilizando 375255 elementos finitos [2].

Posteriormente, se lleva a cabo la discretización del modelo utilizando elementos tetraédricos (C3D4) de primer orden de interpolación con cuatro nodos en sus vértices, debido a que los mismos son perfectamente adaptables a la geometría de la férula. Utilizando criterios de convergencia [4] se obtiene el mallado óptimo con un número total

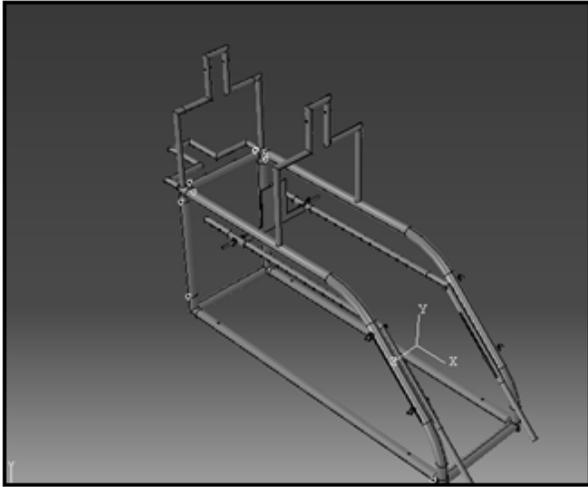


Figura 9: Esquema de la primera condición de evaluación de la férula [2].

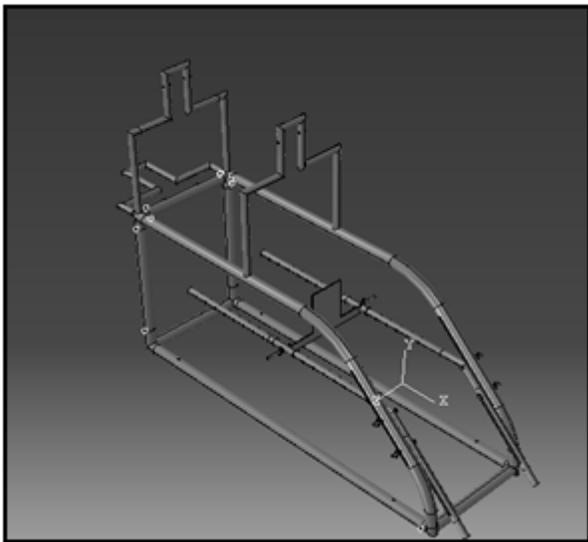


Figura 10: Esquema de la segunda condición de evaluación de la férula [2].

de 375255 elementos cuando el error porcentual se aproxima a cero. En la Figura 8 se muestra el modelo discretizado.

Se procede a realizar el análisis del modelo en donde se obtiene el estado de esfuerzos (necesario para realizar el cálculo del factor de seguridad para distintas posiciones) así como los desplazamientos máximos para cada las dos condiciones indicadas en las Figuras 9 y 10.

#### ■ Evaluación de esfuerzos y desplazamientos para la primera posición:

En esta posición se considera un usuario

de 120 kg cuya longitud total del miembro inferior es de 0,98 m. Para esta posición se obtiene un esfuerzo máximo de 161,36 MPa, ubicado en el tubo móvil con corredera, en posición de 45°, en este elemento se presenta un desplazamiento máximo de 2,33 mm en su extremo. Para esta condición se obtiene un factor de seguridad de **1,95**. En la Figura 11 se muestra el resultado de esfuerzos de Von Mises (MPa) para la primera condición mientras que en la Figura 12 se indican los resultados de desplazamientos (mm).

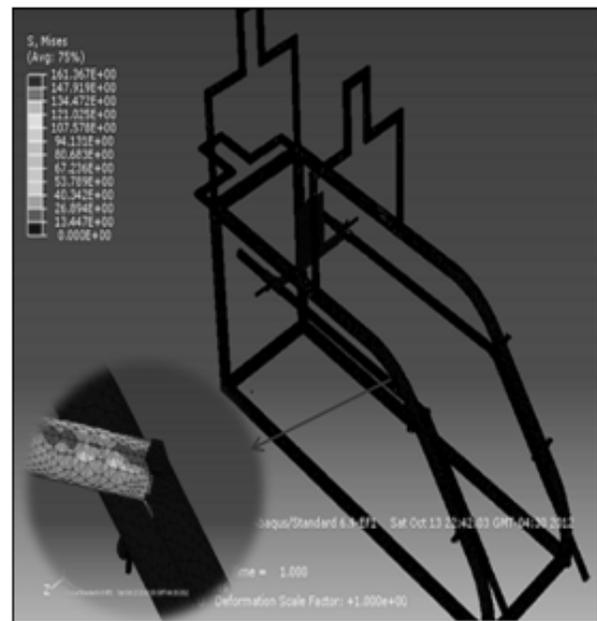


Figura 11: Resultado de esfuerzos (MPa) en el modelo para la primera condición 1 [2].

#### ■ Evaluación de esfuerzos y desplazamientos para la segunda posición:

Para el presente estado se estima un usuario de 120 kg cuya longitud total del miembro inferior es de 60 cm. El objetivo de éste análisis es asegurar la funcionabilidad del mecanismo de regulación de longitud del modelo. Para las condiciones de contorno establecidas la zona mas esforzada se encuentra ubicada en el tubo móvil con corredera en posición de 45°, sometida a un esfuerzo máximo de Von Mises de 111,7 MPa. Por otra parte, el

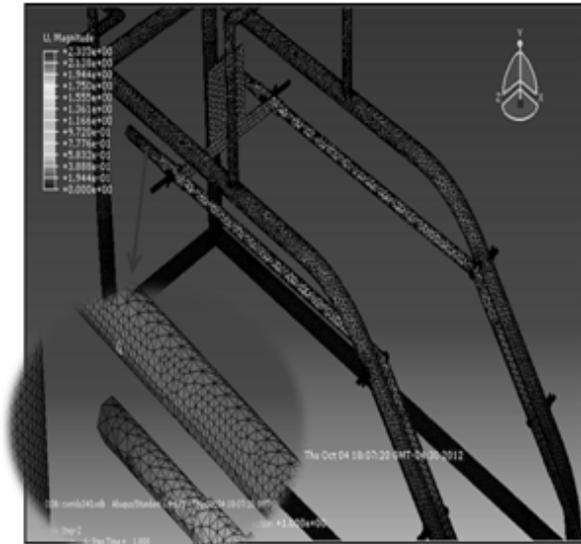


Figura 12: Resultados de desplazamientos (mm) en el modelo para la primera condición [2].

tubo móvil con corredera en posición de 45° presenta un desplazamiento máximo de 1,307 mm en su extremo. Asimismo, el factor de seguridad para esta condición es de **2,77**.

En las Figuras 13 y 14 se muestran los resultados obtenidos para esfuerzos de Von Mises (MPa) y desplazamientos (mm) respectivamente, para la condición 2.

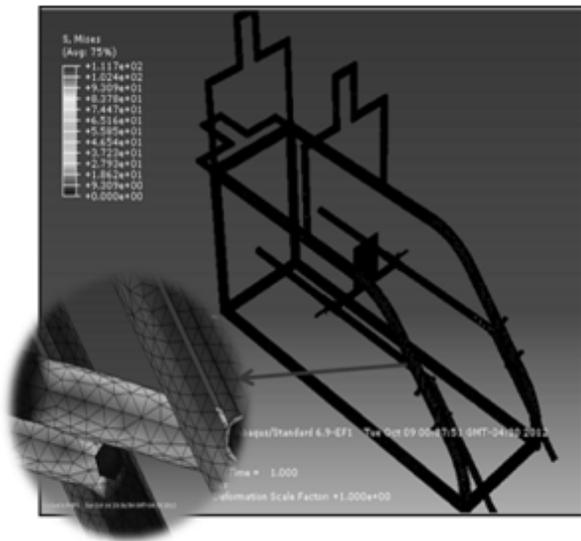


Figura 13: Resultado de esfuerzos de Von Mises (MPa) en el modelo para la segunda posición.

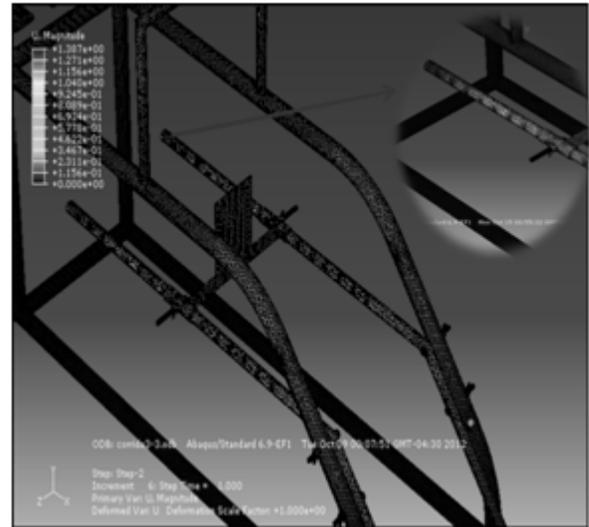


Figura 14: Resultados de desplazamientos (mm) presentes en el modelo para la segunda posición [2].

Una vez determinados los esfuerzos en ambas condiciones, es posible determinar el factor de seguridad a través de la ecuación (1) [5]:

$$N = \frac{S_y}{\sigma_{vM}} \quad (1)$$

Donde, N es el factor de seguridad a carga estática,  $S_y$  es la resistencia de fluencia del material de trabajo y  $\sigma_{vM}$  es el esfuerzo de Von Mises obtenido en el análisis. Con los resultados de factor de seguridad para carga estática es posible garantizar que la férula de tracción no falla para la geometría, material y condiciones de carga estimadas.

Una vez verificada la condición anterior se procedió a construir la férula y posteriormente fue evaluada desde el punto de vista médico hospitalario, a manera de verificar que el dispositivo ofrece mejores condiciones en comparación con las férulas usadas actualmente en el HUAL.

En la Figura 15 y 16 se muestra el dispositivo construido.

#### 4. Conclusiones:

Se ha obtenido una férula de tracción con una geometría que permite una sencilla fabricación debido a que no se requiere de procesos de mecanizados especiales. La férula pesa 16 kg., es

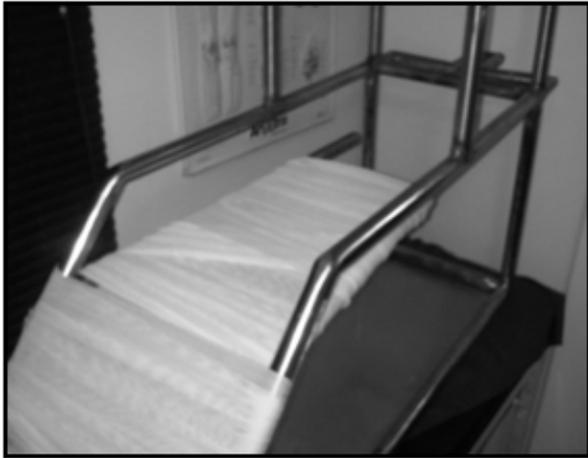


Figura 15: Férula de tracción para lesiones del miembro inferior.

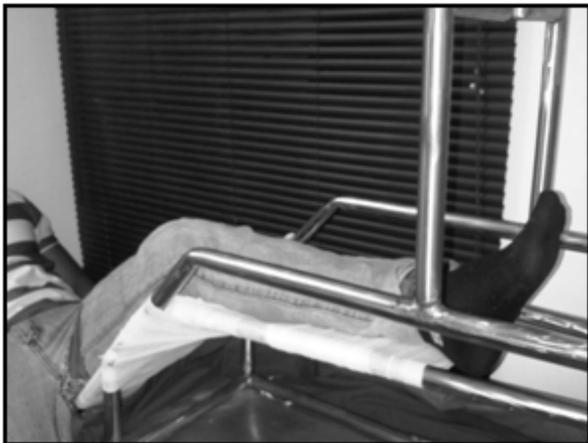


Figura 16: Férula de tracción para lesiones del miembro inferior.

de fácil mantenimiento, y al ser fabricada en acero inoxidable 316 L garantiza la ausencia de signos de desgaste (oxidación) por décadas.

Con el sistema diseñado es posible afirmar que las piezas funcionarán bajo condiciones seguras desde el punto de vista de resistencia luego de aplicar los criterios de falla y determinar el factor de seguridad en los elementos mecánicos que componen la férula de tracción. Adicionalmente es posible indicar que la primera condición de estudio resulta la condición crítica de operación para la férula.

La férula funciona con intervalos que van de 25 cm a 42 cm en la longitud del muslo y de 15 cm a 55 cm en la longitud de la pantorrilla, esto representa una de sus mejores características

en comparación con las que utilizan en el HUAL que no son regulables.

Cumple perfectamente con el principio de funcionamiento dado que el diseño permite mantener la línea del fémur con la tracción a 45° y la base ofrece estabilidad sobre la cama clínica.

### Reconocimiento

Este artículo fue seleccionado por la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, como premio a uno de los mejores Trabajos Especial de Grado del año 2012.

### Referencias

- [1] Davenport K (2001), Manual de Fracturas. Editorial Mc Graw-Hill Interamericana, Segunda edición, Capítulo 19: Fracturas del cuerpo femoral, p.p. 325-344.
- [2] Algarra, L; Sánchez, J (2012). "Diseño y construcción de una férula de tracción para fracturas de miembro inferior". Tesis de grado. Escuela de Ingeniería Mecánica. Centro de Biomecánica. Universidad de Carabobo. Venezuela.
- [3] Mott, R (2006). Diseño de Elementos de Maquinas. 4ta Edición. Editorial Pearson Educación.
- [4] Zienkiewicz, O (1980). "El Método de los Elementos Finitos", Reverté S.A.
- [5] Norton, R (1999). "Diseño de Máquinas", Primera Edición. Editorial Pearson.