

UTILIZACIÓN DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL DISEÑO DE UN DISPOSITIVO ORTOPÉDICO.

R. González, E. García, Y. Campos, K. Abreu

Universidad de Camaguey
Carretera Circunvalación Norte Km. 5.5, Camaguey.
Email: raide.gonzalez@reduc.edu.cu

RESUMEN

En este trabajo se aborda la problemática del tratamiento de torsión tibial y la necesidad de un dispositivo ortopédico para su corrección. Se mencionan los elementos necesarios para el diseño de dicho dispositivo, así como las ventajas que proporcionan las nuevas técnicas de diseño, cuyos avances se muestran brevemente en este trabajo. Finalmente se muestra el modelo 3D del prototipo del dispositivo bajo la acción de las cargas lo que nos posibilita comprobar el diseño y decidir el modelo óptimo para su fabricación.

Palabras claves: torsión tibial, tacón de torque, tensiones, diseño mecánico, elementos finitos, modelo de cargas, modelo 3d, modelo del material.

ABSTRACT

In this paper a tibial torsion problem is described. The need of an orthopedic device for its treatment in Cuba is explained. The characteristics and properties of the orthopedic device are mentioned. The advantage in the use of new design technique is also mention. Finally, the 3D model of the prototype behavior under load effect is shown and how this results can help to select the optimal model for future manufacture.

Key words: tibial torsion, torque heel, stress, mechanic design, finite elements, load model, 3D model, material model



SOCUBIO
SOCIEDAD CUBANA
DE BIOINGENIERÍA



ICID
Instituto Central
de Investigación Digital

Bioingeniería y Física Médica Cubana
ISSN-1606-0563

1. INTRODUCCIÓN

Durante el embarazo, la cabeza, los brazos y piernas del bebé se mantienen completamente flexionados y esta posición intrauterina puede ocasionar deformaciones de los miembros inferiores. Caminar con los pies hacia adentro constituye el problema ortopédico más común de la infancia, afectando al 13% de los niños [1].

El tratamiento varía desde la implementación de ejercicios de manipulación y estiramiento, los cuales se deben realizar en sesiones de 20 a 30 cada vez que se cambia el pañal del niño, hasta el uso de aparatos correctores tipo férula de Denis Browne, Wheaton Brace, Bandas elásticas y Calzado Ortopédico con aditamentos especiales en el tacón (tacón ortopédico o Thomas Heel y Tacón de torque o Circular Torque Heel). Si después de los 9 años persiste la torsión tibial interna anormal y existe incapacidad funcional, estará indicada la corrección quirúrgica [2, 3, 4 y 5]. Este procedimiento implica anestesia general, uso de material de osteosíntesis y hospitalización de uno a tres días en situaciones normales. El postoperatorio se controla por consulta en forma clínica y con radiografías, en ocasiones puede estar indicada la fisioterapia [6].

De los dispositivos mencionados en el párrafo anterior, resulta uno de los más prácticos resulta ser el tacón de torque, que es un nuevo aditamento que se coloca en el tacón del zapato, que por su forma geométrica provoca el giro del zapato en la dirección deseada (figura 1). Debe usarse en pares, y la orientación de los tacones dependerá de la orientación del pie.[7, 8] Este dispositivo tiene como principal ventaja que no afecta el desenvolvimiento del niño, puede realizar las actividades normalmente, mientras más camine el niño se acelerará la corrección de la deformación, pues se acelerará la frecuencia de ciclos. [8 y 9]

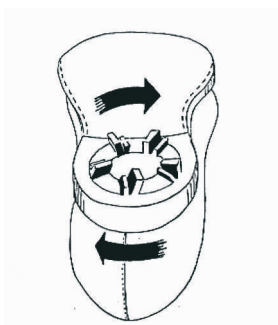


Figura 1. Tacón de torque acoplado al tacón del zapato

Este dispositivo se fabrica de goma y el tratamiento en el diseño del caucho es muy complejo debido al comportamiento no lineal ante la solicitud de cargas. Los artículos de goma deforman varias veces su forma original y al finalizar la acción de las cargas recuperan su forma inicial. [10]

Esto ha llevado a que durante muchos años el caucho se ha utilizado mediante el ciclo prueba y error, es decir se realizaba la fabricación de una pieza y se probaba para ver si cumplía los requisitos exigidos. Este ciclo, al ser antieconómico, se pretende eliminar utilizando técnicas de cálculo por elementos finitos.

Ante la necesidad de un diseño apropiado para fabricar el tacón de torque bajo las condiciones de nuestras industrias utilizando el material elastomérico obtenido en investigaciones anteriores, se decidió utilizar el método de los elementos finitos para predecir el comportamiento del tacón de torque durante la acción de las cargas.

2. MATERIALES Y METODOS

El Método de Elementos Finitos constituye hoy en día el procedimiento habitual de cálculo en Mecánica Estructural y Mecánica de Sólidos en general.

A pesar de su gran difusión actual, los procedimientos de elementos finitos tal y como se entiende hoy en día son relativamente modernos. Su nacimiento y desarrollo es una consecuencia de la disponibilidad de herramientas electrónicas de cálculo cada vez más potentes.

Otro aspecto importante del momento actual es la integración del cálculo por elementos finitos con otras ramas de lo que se ha dado en llamar Ingeniería Asistida por Computadoras (Computer Aided Engineering - CAE). En la actualidad es normal la integración del cálculo por elementos finitos (Finite Element Analysis - FEA) y el Diseño Asistido por Computadoras (Computer Aided Design - CAD), con el objetivo, siempre, de reducir los tiempos de proyecto o de puesta de producto en el mercado. [11]

Cuando no se contaba con esta herramienta se hacía necesario la fabricación de prototipos, ensayarlos e ir realizando mejoras de forma iterativa, lo que traía consigo un elevado coste tanto económico como en tiempo de desarrollo. [12, 13]

El Método de Elementos Finitos (MEF) permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, más fácil y económico hasta llegar al modelo óptimo del problema, sin embargo no deja de ser un método aproximado de cálculo debido a las hipótesis básicas del método. Los prototipos, por lo tanto, siguen siendo necesarios para volúmenes grandes de piezas, pero prácticamente con las dimensiones definitivas, ya que el MEF puede acercarse bastante al diseño óptimo.

La mayoría de los análisis por Elementos Finitos que se realizan se basan en la solución de problemas estáticos, donde el valor de la carga no varía en función del tiempo y existe una relación lineal entre la fuerza y la deformación (Ley de Hooke).

Según tutoriales del Programa de Elementos Finitos [14, 15, 16 y 17] Se puede asumir que la elección de linealidad es válida si:

- Todos los materiales en el modelo cumplen con la ley de Hooke, que es la deformación es directamente proporcional a la tensión.
- Los desplazamientos inducidos son bastante pequeños como para ignorar el cambio de la rigidez causada por cargas.
- Las condiciones de límite no varían durante la aplicación de cargas. Las cargas deben ser constantes en magnitud, dirección y distribución. Estas no varían en la deformación del modelo

Sin embargo no todos los modelos cumplen con las condiciones antes mencionadas, estos modelos son conocidos como no lineales.

Las técnicas de cálculo no lineal han alcanzado una madurez suficiente como para poder ser empleadas por la industria de forma rutinaria. No obstante no tienen aún la difusión alcanzada por los métodos de cálculo lineal y requieren de computadoras más potentes, pero se emplean ya ampliamente en campos tales como el estudio de la resistencia a impacto de vehículos, el diseño de procesos de conformado de piezas metálicas (forja, estampado, extrusión, laminación) y el proyecto de componentes elastoméricos. [10]

A diferencia de lo que ocurre en los metales, que requieren relativamente pocas propiedades para caracterizar su comportamiento, el tratamiento del caucho es muy complejo. Esto es porque estamos ante un tipo de problema no lineal de geometría y de material. Como se planteó en la introducción el ciclo de prueba y error del caucho es antieconómico y se propone sustituir por técnicas de cálculo por elementos finitos.

Para caracterizar el comportamiento mecánico de este tipo de materiales se han desarrollado múltiples modelos teóricos (Mooney-Rivlin, Ogden, Yeoh, etc.), los cuales se basan en el estudio de geometrías y solicitaciones sencillas (compresión uniaxial, tracción uniaxial, cortante, etc.). No obstante se está trabajando para la normalización de los ensayos que describen estas solicitudes de carga, y se han sustituido algunos de estos por otros más exactos, como es el caso de la solicitud biaxial, en sustitución de los ensayos a compresión debido a que se obtiene un estado tensional puro para tensiones de compresión.

Estos modelos han sido implementados en programas de cálculo por elementos finitos que permiten poder realizar el estudio y la optimización de una pieza, sin necesidad de llegar a fabricar un prototipo real. Además son capaces de determinar las constantes de las

propiedades mecánicas de los materiales a partir de los ensayos experimentales. [13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19]

Al analizar lo planteado en [12, 16, 17, 18 y 19] se puede asegurar que:

- El modelo de Ogden requiere mayor tiempo de cálculo al tratarse de una función exponencial respecto al modelo Mooney-Rivlin, que es una función polinómica.
- La determinación de los valores de las constantes Mooney-Rivlin a partir de ensayos experimentales resulta más fácil que las constantes Ogden.
- La ecuación de la energía potencial de deformación del modelo Mooney-Rivlin es considerada la ley constitutiva más usada en el análisis tensional de los elastómeros.

Estos modelos de material presentan limitaciones debido al comportamiento de los elastómeros bajo la acción de cargas repetitivas, las cuales se mencionan a continuación. [20 y 21]

- La relación que existe entre la tensión-deformación es estable, no cambia bajo la repetición de la carga. No existe diferencia entre el modelo de material de la primera deformación y la 100.
- No se prevee alternar la descripción de la tensión-deformación en modelos de material basados en experimentos de deformaciones máximas.
- La relación tensión deformación es completamente reversible, se utiliza la misma ecuación para el incremento y la disminución de las deformaciones. La carga y descarga de la pieza durante el análisis es igual.
- Los modelos consideran que el material es perfectamente elástico, no tienen en cuenta las deformaciones permanentes. Para una tensión igual a cero, la deformación será siempre cero.

Debido a estas limitaciones, para el análisis de una pieza debemos tener en cuenta que lo que define los resultados son los datos de entrada según el caso. Por ejemplo, si se va a analizar la primera vez que se deformará la pieza, entonces se debe utilizar la primera curva tensión-deformación, sin embargo, para el caso de una pieza que se analizará para condiciones de explotación donde se producen repetidas deformaciones, entonces se empleará la curva tensión-deformación estabilizada. [20, 21]

Para la visualización rápida del modelo 3D del dispositivo ortopédico se utilizó el Software SolidWork 2004 SP03. En el mismo el usuario puede variar las dimensiones de la pieza y establecer relaciones entre dichas dimensiones, de forma tal que con cambiar una dimensión, cambiará la forma completa de la pieza, esta función nos posibilita obtener múltiples variantes de prototipos de una forma rápida.

Como el dispositivo es de goma, se necesita de un molde para obtener su configuración geométrica. El método de elaboración de piezas más difundido a nuestro alcance es por arranque de virutas, donde podemos encontrar máquinas herramientas en la mayoría de los talleres de maquinado.

Por la complejidad de las cavidades del molde, es necesario utilizar máquinas con control numérico. Este programa CAD tiene integración directa con programas generadores de operaciones para estas máquinas herramientas sin necesidad de convertir el sólido de la pieza a otro formato electrónico, más conocido como Full Integrated Systems. El utilizado para este fin es el SolidCAM 2003.

En su forma original los tacos inclinados del tacón de torque tienen forma cuadrada. Debido a dificultades en la obtención del molde con esta forma, fue necesario variar esta configuración cuadrada a redondeada en los extremos, pues es la que se puede obtener a través del método de arranque de virutas. Debido al principio de este tipo de proceso tecnológico, se hacen inevitables las curvas en las intersecciones de los planos de la cavidad del molde. Por otra parte los tacos rectos (que sirven de apoyo cuando el tacón inclinado se encuentra completamente flexionado), originalmente poseen una dimensión que para obtenerla se necesitan herramientas con diámetros muy pequeños por lo que se decide aumentar esta dimensión sin afectar el principio de funcionamiento del dispositivo. (Figura 2).

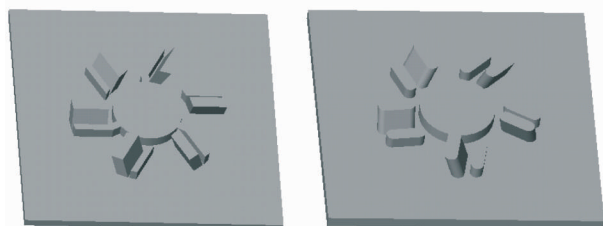


Figura 2. Modelo 3D del tacón de torque. A la izquierda con extremos cuadrados y a la derecha con extremos redondeados.

Para el cálculo por Elementos Finitos se seleccionó el software de la firma Structural Research and Analysis Corporation con sus siglas en inglés (SRAC) Cosmos DesignStar.

Como se mencionó con antelación mientras más próximo a las condiciones reales esté el modelo, más exactos serán los resultados, por tanto se necesita un Modelo de Cargas preciso.

De las distintas fases del ciclo de marcha, el apoyo con extensión completa de rodilla es donde se encuentran los mayores valores de fuerza sobre la pierna con un valor de 3 a 4 veces el peso corporal, comparadas con 0.5 veces el peso, que cuando la persona está de pie estáticamente sobre sus dos piernas. (Figura 3). [22]

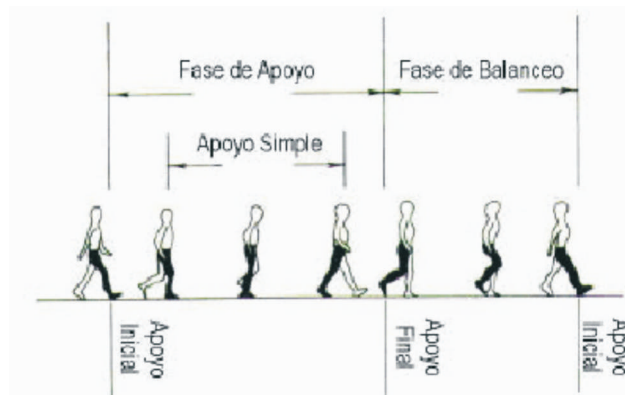


Figura 3. Fases del ciclo de la marcha.

Este incremento es producido en parte por la acción de la fuerza de inercia y el pequeño impacto del talón con el suelo cuando se apoya. Resulta de gran interés tomar en consideración este incremento de las fuerzas para obtener modelos que pretendan simular el comportamiento del tacón de torque.

En el modelo descrito en el presente trabajo se evaluarán las condiciones extremas de cargas.

El peso de los niños se obtiene a partir de la figura 4, registrado a continuación, que fue elaborado a partir de valores establecidos y normalizados internacionalmente [1]

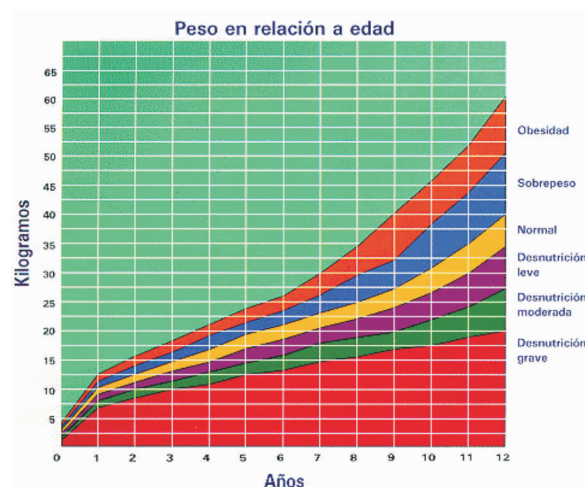


Figura 4. Pesos de niños con respecto a la edad. [1]

Para seleccionar los pesos máximos es necesario acceder a la franja de "sobrepeso", en el rango de edades entre 2 y 9 años que es cuando es aplicable el dispositivo en estudio.

Las fuerzas a analizar actúan como una presión o fuerza distribuida sobre las placas inclinadas que sobresalen por lo que será dividido su valor entre el número de placas. (Figura 5)

El programa posibilita definir las Curvas de Tiempo, donde se afectará el valor de la fuerza por la acción dinámica del movimiento.

Otro elemento del Modelo de Cargas lo constituyen las condiciones de contorno, se estableció que la unión entre el tacón del zapato y el dispositivo fuera rígida, por lo que se considera como empotramiento.

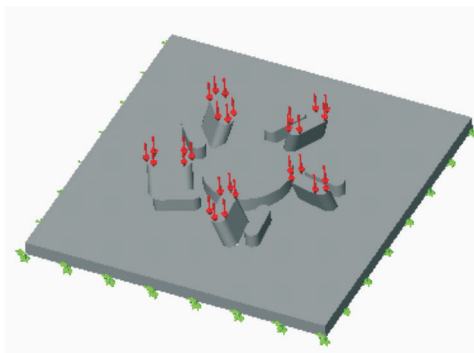


Figura 5: Tacón de torque con cargas (flechas en color rojo) y apoyos (flechas en color verde representan las direcciones donde se eliminan los grados de libertad).

Una vez definidos los modelos 3D, de Material, de carga y Condiciones de Contorno, se puede realizar el análisis para visualizar el comportamiento del estado tensional de la pieza y buscar los puntos más cargados donde puede producirse la falla y evaluar si los valores de tensiones no superan los valores límites.

3. RESULTADOS

Para el prototipo del tacón de torque de 6 tacos, se obtuvo que los tacos inclinados cuando se flexionan se apoyan sobre los taquitos que sirven de apoyo, esto no es concebible debido a que limitaría el funcionamiento del dispositivo. (Figura 6).

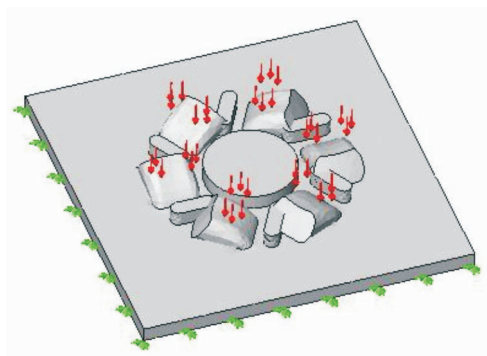


Figura 6. Resultado del análisis por elementos finitos para el prototipo de 6 tacos.

Según la consulta bibliografía [8], también se existe la variante de tacones de torque con 5 tacos. Ante esta posibilidad se plantea disminuir el número de tacos del referido tacón de torque a 5 y mantener el resto de las dimensiones.

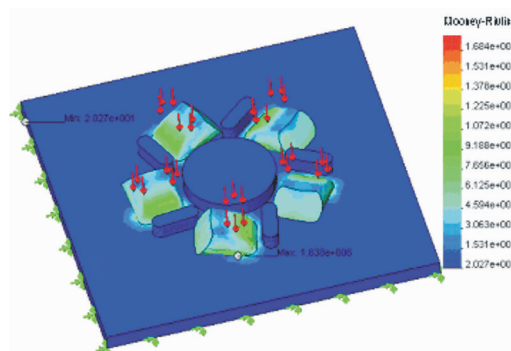


Figura 7: Distribución de tensiones en el tacón de torque con 5 tacos.

Una vez realizadas estas consideraciones, se realizó el análisis para el nuevo diseño, y se obtuvieron los siguientes resultados que se describen.

- Las tensiones máximas se encuentran en la base de los tacos inclinados (figura 7), y las mismas son ligeramente mayores en el caso de 5 tacos (1.838 MPa) con respecto a 6 tacos. (1.531 MPa), ambas son menores que la tensión máxima que puede soportar el material (3.7 MPa) por lo que el modelo propuesto es resistente para estas condiciones y trabaja con un coeficiente de seguridad de 2, por lo que se encuentra en rango permisible según [23 y 24] el cual se encuentra entre (1.8 - 3) y es el que se decide utilizar en el tratamiento de la torsión tibial.
- Los desplazamientos máximos se observan en el extremo libre del tacón inclinado (figura 8), sin que ocurra la flexión axial (pandeo), esto posibilita que cumpla el principio de funcionamiento del tacón de torque, pues con la flexión transversal de los tacos inclinados, provoca la rotación de la base cuadrada, esta última va acoplada al tacón del zapato del paciente.

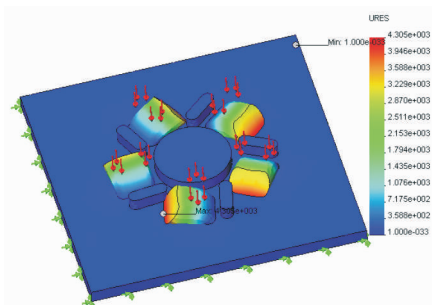


Figura 8: Desplazamiento de los tacos que realizan trabajo en la variante de tacón de torque con 5 tacos.

4. CONCLUSIONES

- Con la utilización de las técnicas CAD-CAE se reduce considerablemente el tiempo de diseño de este dispositivo ortopédico.
- Se puede visualizar el producto antes de ser fabricado a través del Modelo en 3D, y si es preciso por cuestiones de estética o de diseño, realizar transformaciones a la geometría sin incurrir en gastos por concepto de utilización de materia prima.
- Una vez realizados los análisis a través del MEF se puede decidir cual de las variantes de la pieza es la que resiste la acción de las cargas y de esta forma seleccionar el diseño óptimo.
- Los programas de Elementos Finitos brindan como resultado el comportamiento de las deformaciones y los desplazamientos de la pieza bajo la acción de la carga, y de esta forma se puede observar el funcionamiento de la pieza virtualmente antes de ser fabricada, lo que posibilita corregir errores.

REFERENCIAS

- [1] Díaz Problemas ortopédicos [en línea] http://www.tupediatra.com/temas/tema73.htm_Ref55644309, En: Tu pediatra.com [s.l, s.n, s.a], [Consulta: enero de 2003]
- [2] Desviaciones axiales y rotacionales de miembros inferiores en niños. [en línea] <http://www.geocities.com/HotSprings/Spa/9784/ortoped.htm>, En: Geocities.com [s.l, s.n, s.a], [Consulta: enero del 2003]
- [3] V. Calzadilla, I. Castillo, J. Estrada. Desviaciones torsionales de los miembros inferiores en niños y adolescentes. Revista Cubana de Medicina General Integral 10(5), 2002.
- [4] Fernández. Anomalías rotacionales de los miembros inferiores. [en línea] http://www.traumazamora.org/ortoinfantil.htm_Ref55641476 En: Cirugía Ortopédica Zamora [s.l, s.n], 1998. [Consulta: enero del 2003]
- [5] Orthopaedic Topics: Internal Tibial Torsión. [en línea] http://www.orthoseek.com/articles/inttibtor.html_Ref55643945, En: Orthoseek. [sl, s.n, s.a], [Consulta: enero del 2003]
- [6] D. Díaz. Torsión tibial. [en línea] www.tupediatra.com/temas/tema118.htm En: Tu pediatra.com [s.l, s.n, s.a], [Consulta: enero del 2003]
- [7] Guías Protocolos de manejo miembros inferiores. [en línea] http://www.institutoroosevelt.org.co/DirMed-Ortoped-Inferior.htm_Ref98235293. Instituto Roosevelt, [s.n, s.a], [Consulta: enero del 2003]
- [8] Footwear & Podiatry [en línea] <http://www.ketteringsurgical.com/foot/insoles/cth.htm> Kettering Surgical Appliances [s.l, s.n, s.a], [Consulta: febrero del 2004]
- [9] R. González., E. García, O. Gamboa. Problema del tratamiento del Síndrome torsional de miembros inferiores en Cuba. [en línea] <http://www.monografias.com/trabajos15/sindrome-torsional/sindrome-torsional.shtml> En: Monografias.com [s.l, s.n], 2004, [Consulta: febrero del 2005]
- [10] Nonlinear Finite Element Analysis of Elastomers. [en línea] http://www.axelproducts.com/downloads/MARC_FEA_ELASTOMERS_2000.pdf En: MSC. Software Corporation, [s.n]: Axel Product, Inc, 2000, [Consulta: abril 2006]
- [11] F. Beltrán. Teoría general del Método de los Elementos Finitos. [en línea] <http://www.idom.es/ada/Download/TeoriaMEF.pdf>. Collado-Villalba, 1999, [Consulta: enero, 2004]
- [12] Diseño de componentes elastoméricos por método de los elementos finitos. [en línea] <http://revista.robotiker.com/articulos/articulo12/> Revista Robotiker, 2003, [Consulta: diciembre, 2003]
- [13] Fundamentos teóricos del comportamiento mecánico del caucho. [en línea] <http://revista.robotiker.com/articulos/articulo12/pagina2.jsp> Revista Robotiker, 2003, [Consulta: Enero, 2004]
- [14] COSMOS DesignStar Nonlinear User's Guide. Version 3.0. SRAC, USA, 2003.
- [15] COSMOS/M 2.85 Advanced Modules (NSTAR) Nonlinear User's Guide. SRAC, USA, 2003.
- [16] DUNCAN, BRUCE. Characterisation of Flexible Adhesives for Design [en línea] http://www.npl.co.uk/adhesives/documents/gpg_45.pdf Crown Copyright: NPL Materials Centre of Teddington, 2001, [Consulta: abril 2006]
- [17] DUNCAN, BRUCE. Test methods for determining hyperelastic properties of flexible adhesives. [en línea] http://www.npl.co.uk/adhesives/documents/cmmt_mn_54.pdf Crown Copyright: NPL Materials Centre of Teddington, 1999, [Consulta: abril 2006]

- [18] CROCKER, L.E. The application of rubber material models to analyse flexible adhesive joints [en línea] www.npl.co.uk/adhesives/documents/Add99_ruber_paper.pdf. Crown Copyright: NPL Materials Centre of Teddington, 1999, [Consulta: abril 2006]
- [19] CROCKER, L E. Hyperelastic Modelling of Flexible Adhesives [en línea] http://www.npl.co.uk/adhesives/documents/cmmt_a_183.pdf. Crown Copyright: NPL Materials Centre of Teddington, 1999, [Consulta: abril 2006]
- [20] J. Uthuppan. Hyper Elastic Material Testing. COSMOS DesignStar User Group Meeting, September 30, 2003.
- [21] K. Miller. Testing Elastomers for Hyperelastic Material Models in Finite Element Analysis. [en línea] <http://www.axelproducts.com/downloads/BiaxialExtension.pdf> [s.n]: Axel Product, Inc, 2004, [Consulta: abril 2006]
- [22] R. Rodríguez. Análisis y simulación de las condiciones de carga a las que esta sometida la rodilla durante la marcha normal. Biomecánica V CIDIM, IV CONIM 75-82.
- [23] J. E. Shigley. El proyecto de Ingeniería Mecánica. McGraw Hill Book Company, Inc. Nueva York, 1976 G. S. Pisarenko, A. P. Yákovlev y V. V. Matvéev. Manual de Resistencia de Materiales. Editorial Mir, Moscú, 1985.