

ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS APLICADOS A SEPARADORES DE CADERA COMO PREDICTOR EN EL DISEÑO DE INSTRUMENTAL QUIRÚRGICO.

FINITE ELEMENT ANALYSIS APPLIED TO HIP SPACERS AS PREDICTOR IN THE DESIGN OF SURGICAL INSTRUMENTS.

MARIA CELY

Universidad Autónoma del Caribe, Docente Investigador, email: mmcelly@yahoo.es

ARMANDO ROBLEDO

Universidad Autónoma del Caribe, Docente Investigador, email: mmcelly@yahoo.es

Recibido para revisar enero 23 de 2009, aceptado noviembre 10 de 2009, versión final febrero 12 de 2010.

RESUMEN: Las cirugías de reemplazo total de cadera (RTC) utilizan una serie de instrumentos llamados separadores que permiten visualizar el campo quirúrgico (área acetabular) [1]. El tiempo, espacio y campo quirúrgico son factores relevantes en el desarrollo de este tipo de cirugías que se ven afectados por el uso de separadores, con diseños diferentes, que requieren ser sostenidos por una o varias personas para retraer los tejidos de la pierna por tiempo prolongado, generando mayor morbilidad en el paciente y estrés en el equipo quirúrgico (equipo entendido como el grupo compuesto por el médico cirujano, anestesiólogo, instrumentador y auxiliar) que desarrolla la cirugía. El instrumental actualmente utilizado, en cirugías de RTC, no satisface los requerimientos ergonómicos y minimizan las condiciones óptimas de trabajo. El uso de herramientas computacionales ha generado en las últimas décadas una solución rápida y segura a muchos problemas ingenieriles, facilitando así el desarrollo de procesos y productos. El análisis por elementos finitos es uno de los métodos más utilizados en problemas de tensión-deformaciones, con un componente predictivo, aplicado al diseño y desarrollo de instrumental que optimizan las condiciones de trabajo del equipo quirúrgico. El propósito de este estudio fue mejorar las condiciones de trabajo del equipo quirúrgico, minimizando las complicaciones post-quirúrgicas del paciente, a partir del estudio del instrumental quirúrgico, especialmente separadores, utilizados para cirugía RTC, incorporando criterios de diseño y analizando la distribución de tensiones generadas en el modelo, sin perder de vista los niveles de funcionalidad clínica y mecánica requeridas.

PALABRAS CLAVE: Cadera, Separador, Análisis por elementos finitos, Instrumental quirúrgico.

ABSTRACT: The total hip replacement surgery uses a series of instruments called separators which allows visualize the surgical field (acetabular area). Time, space and surgical field are relevant factors in the development on surgeries affected by the use of separators different desigs that must be restrained by one or more persons to retract tissues of the leg for a long time, thus generating greater morbidity in the patient and stress on the surgical team. (team understood the group consisting of the surgeon, anesthesiologist, instrumentalist and auxiliary) which develops surgery. The instruments currently used in surgeries THR does not satisfy the ergonomic requirements and minimize the optimal working conditions. The use of computational tools has generated in recent decades a quick and safe solution to many engineering problems, thus facilitating the development of processes and products. The finite element analysis is one of the most widely used methods of tensile-deformation problems, with a predictive component, applied to the design and development of instruments to optimize the working conditions of the surgical team. The purpose of this study was to improve the working conditions of the surgical team, minimizing postoperative complications of the patient from the study of surgical instruments, especially separators, used for surgery THR, incorporating design criteria and analyzing the stress distribution generated in the model, without losing sight of clinical levels of functionality and mechanical requirements.

KEYWORDS: Hip, Separator, FEM, Surgical instruments.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes problemas del instrumental quirúrgico es su peso, el cual es necesario aligerar, con un concepto más ergonómico que genere comodidad en el momento de la operación, ya que una cirugía de reemplazo total de cadera (RTC), puede durar hasta más de cuatro horas, generando así una mayor carga física, mayor incidencia en infecciones por contaminación [2] y de por sí un mayor riesgo para el paciente.

Con el fin de minimizar los aspectos anteriormente enunciados se busca mejorar el diseño del instrumental utilizado en cirugías de RTC, para lo cual se realiza una primera evaluación a partir de una encuesta aplicada a médicos y cirujanos para detectar los problemas en el manejo y uso del instrumental tanto para el paciente como para el equipo quirúrgico.

Una de las herramientas utilizadas en el análisis de distribución de tensiones aplicadas a un modelo

determinado es el análisis por elementos finitos; el cual fue utilizado por Brekelmans [3] y Huiskes[4] en 1972 y 1983 respectivamente y quienes fueron los primeros en utilizarlo en el área de ortopedia. Y desde allí ha sido un instrumento predictivo aplicado al diseño de instrumentos e implantes en el campo de la ortopedia [5] y la medicina en general.

El análisis por elementos finitos es uno de los métodos más utilizados en problemas de tenso– deformaciones en articulaciones [6], esto se debe a que es posible predecir la distribución de tensiones que se producen en los huesos antes y después de la cirugía, sin necesidad de recurrir a modelos reales. Esta técnica consiste en sustituir la pieza como entidad continua por una serie de partes o porciones pequeñas de geometría sencilla sobre las que se aplican las ecuaciones de la mecánica [7]. De este modo se reduce un problema con infinitos grados de libertad a uno que tiene un número variable finito[8]. Este modelo mostró que las cargas a las cuales esta sometido el instrumental no afecta su comportamiento mecánico, pero el efecto de este sobre los tejidos blandos puede ocasionar necrosis en ellos.

El procedimiento de RTC es de gran importancia por la posición de los diferentes componentes protésicos. En algunos estudios el índice de luxación para un RTC primario es de 2-8%; por lo cual se sugiere una zona segura de inclinación entre 30 y 50° y para la anteversión acetabular entre 5 y 25°. A pesar de los diferentes diseños de instrumentales para la orientación de la copa y/o el tallo femoral y de la experiencia del cirujano, esta zona de seguridad no se obtiene hasta en un 42% de los casos, lo que aumenta el tiempo y el riesgo de complicaciones en el reemplazo articular. [9].



Figura 1. Abordaje quirúrgico
Figure 1. Surgical approach

La figura 1, muestra el abordaje quirúrgico en un RTC. Se observa la posición de los separadores para

mantener la incisión abierta. La fuerza ejercida por estos instrumentos y el tiempo que conllevan estos procedimientos, pueden generar daño tanto en los músculos y huesos, así como en los tejidos blandos que intervienen.

Este proyecto busca mejorar las condiciones de trabajo del cirujano, a partir del estudio del instrumental quirúrgico utilizado para cirugía de cadera incorporando criterios de diseño y analizando la distribución de tensiones generadas en el modelo, sin perder de vista los niveles de funcionalidad clínica y mecánica requeridas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El tipo de estudio utilizado para el presente trabajo de investigación fue Cuasi Experimental, ya que no se ejerció un control total sobre las variables presentadas. El objetivo de la investigación consistió en estudiar los diferentes tipos de separadores utilizados en cirugía de cadera. Se realizaron los planos de diseño en el software Solidworks 2007, de los actuales separadores, teniendo en cuenta la biomecánica de los músculos y ligamentos que intervienen en este tipo de cirugía.

La recolección de la información requerida para esta investigación, fue recopilada a partir de un estudio [10] desarrollado en las instituciones de salud de III y IV nivel de complejidad en la ciudad de Barranquilla, donde se efectúan procedimientos quirúrgicos de cirugía de cadera. Las encuestas, aplicadas en este estudio, estuvieron dirigidas a cirujanos, residentes de cirugía e instrumentadores quirúrgicos de siete clínicas de la ciudad de Barranquilla. Además se realizaron test de observación dentro de los procedimientos quirúrgicos de RTC.

Se modelaron tridimensionalmente 2 piezas o separadores, la pinza de ollier y la pinza 01, utilizadas actualmente en la separación de los tejidos blandos en cirugías de RTC. Las geometrías fueron desarrolladas en el programa de Solidwork y para el análisis por elementos finitos, se utilizaron algunas de las aplicaciones de este programa. La información geométrica permitió la generación de mallas por discretización de elementos finitos con elementos sólidos tetraédricos (Ver especificaciones Tabla 1).

Para realizar la validación del modelo MEF del instrumental se recurrió a los datos de tensiones en músculos y huesos en humanos obtenidos de la

literatura, comparados con las propiedades del material y su relación directa con la aplicación de cargas [11].

Tabla 1. Información de la malla.

Información de malla	
Tipo de malla:	Malla con elementos sólidos tetraédricos
Mallador utilizado:	Estándar
Transición automática:	Desactivar
Superficie suave:	Activar
Verificación jacobiana:	4 Points
Tamaño de elementos:	2.4035 mm
Tolerancia:	0.12018 mm
Calidad:	Alta
Número de elementos:	5787
Número de nodos:	12185

En el caso del material utilizado para los cálculos correspondientes se utilizó la referencia AISI 304 acero inoxidable austenítico, utilizado comúnmente en la fabricación de instrumental quirúrgico, por sus buenas propiedades mecánicas (Ver tabla 2) y su resistencia a la corrosión.

Tabla 2. Propiedades mecánicas acero inoxidable AISI304.

Table 2. Mechanical properties stainless steel AISI 304

Nombre de propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	1.9e+011	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.29	NA
Módulo cortante	7.5e+010	N/m ²
Densidad	8000	kg/m ³
Límite de tracción	5.1702e+008	N/m ²
Límite elástico	2.0681e+008	N/m ²
Coefficiente de dilatación térmica	1.8e-005	/Kelvin
Conductividad térmica	16	W/(m.K)
Calor específico	500	J/(kg.K)

3. RESULTADOS

Diagnóstico.

El diagnóstico inicial mostró, a partir de la encuesta aplicada, el promedio mensual de cirugías realizadas en la ciudad de Barranquilla, el grado de confort del cirujano, el residente e instrumentador quirúrgico al utilizar los separadores actuales, las dificultades encontradas en su uso, y las características de diseño que prevalecen.

La figura 2 muestra la relación del número de cirugías mensuales en las clínicas del sector, encontrándose que el promedio mensual es de 1 a 5 cirugías con un 71%, es decir aproximadamente 1 cirugía por semana.

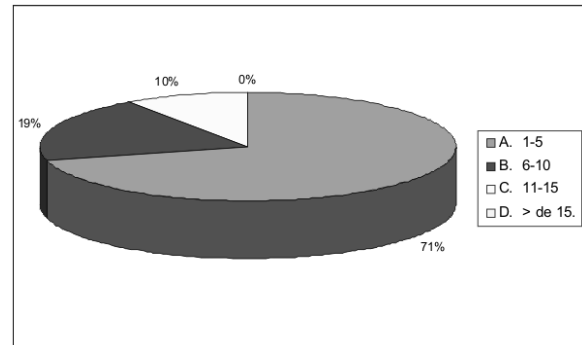


Figura 2. Promedio mensual de cirugías de cadera
Figure 2. Average monthly hip surgery

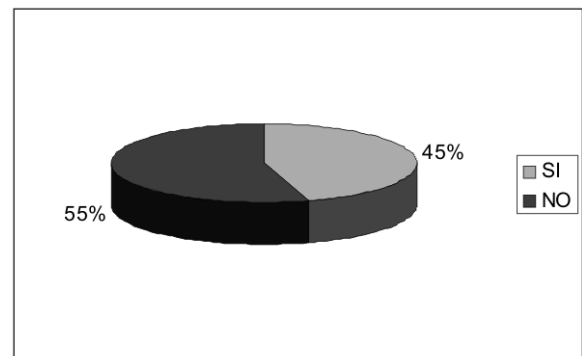


Figura 3. Nivel de satisfacción con los instrumentales utilizados actualmente.
Figure 3. Level of satisfaction with the instrumental use today.

La figura 3, muestra como el nivel de satisfacción es desfavorable en un 55% de los encuestados, generado en diferentes causas de diseño del instrumental quirúrgico.

Según el grado de importancia, que tienen algunas dificultades presentadas en el momento de la cirugía, la figura 4, muestra que la exposición inconstante, generada por la utilización de los separadores actuales, es una de las dificultades que más se presenta en el equipo quirúrgico, seguida de la generación de un área mínima de exposición.

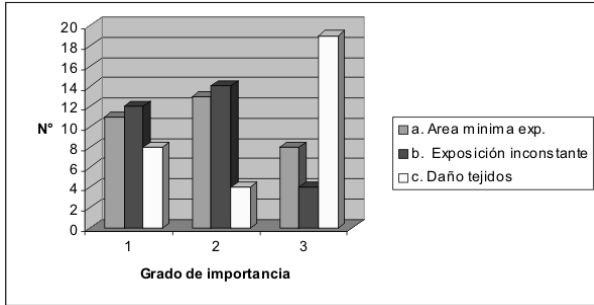


Figura 4. Tipo dificultad encontrada en la utilización de los separadores de cadera.
Figure 4. Type difficulty encountered in the use of hip separators.

Para determinar las causas que generan inconformidad por parte del instrumental actualmente utilizado, se puede observar en la Figura 5 que de los cuatro aspectos evaluados, tres de ellos generan inconformidad, como son: la utilización de más de un separador, lo que requiere de otra persona más en la sala de cirugía; la reubicación del separador, generando pérdida de tiempo en el procedimiento y el proceso de sostenimiento, que causa tensión y cansancio en el instrumentador o auxiliar.

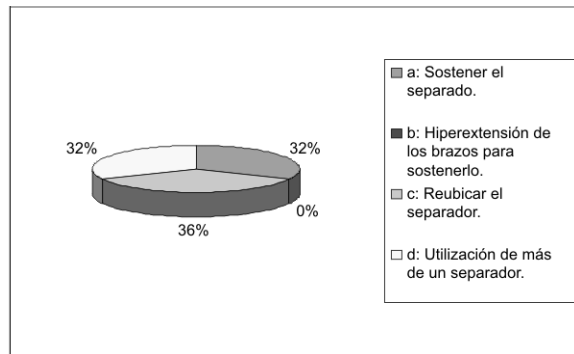


Figura 5. Principales causas de inconformidad generadas por la utilización de los instrumentales de cadera.
Figure 5. Major causes of discontent generated by the use of instrumental hip.

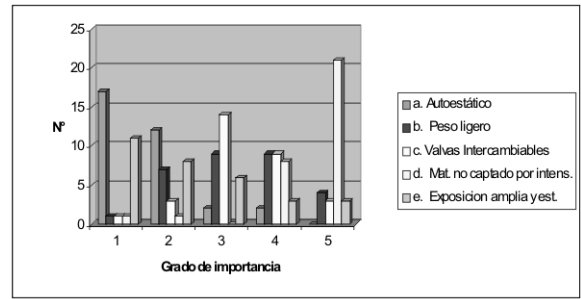


Figura 6. Características ideales del nuevo diseño.
Figure 6. Ideal characteristics of the new design.

Con el fin de generar parámetros para un nuevo diseño, se evaluaron algunos ítems, que se muestran en la figura 6, la cual muestra que de los aspectos más importantes para el cirujano y el equipo quirúrgico esta en que el instrumental ya sea el separador o algún tipo de valvas, las cuales cumplen la misma función, sean autoestáticas y generen una exposición amplia del campo operatorio.

Análisis de cargas y esfuerzos en instrumentos utilizados en separación de cadera

A. Pinza-01

A continuación se presentan los análisis de cargas y esfuerzos [12], en una Pinza-01 utilizada para la separación del tejido en cirugía de RTC.

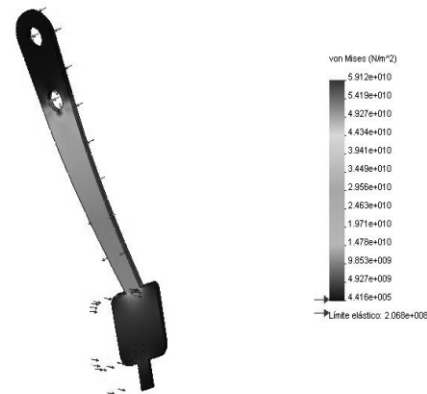


Figura 7. Tensiones en Pinza-01.
Figure 7. Tensions in clip-01

En la figura 7, se muestra los estados de esfuerzo flectores en un pinza tipo 01. En ella se ve que en los extremos libres inferior y superior los esfuerzos son mínimos (4.4×10^5 Pa); mientras que los esfuerzos en la parte media de este separador están en el orden

de 5.9×10^{10} Pa, siendo considerablemente mayores. Este instrumento presenta dos orificios en la parte superior, usados como soporte, donde se concentra una mayor cantidad de esfuerzos.

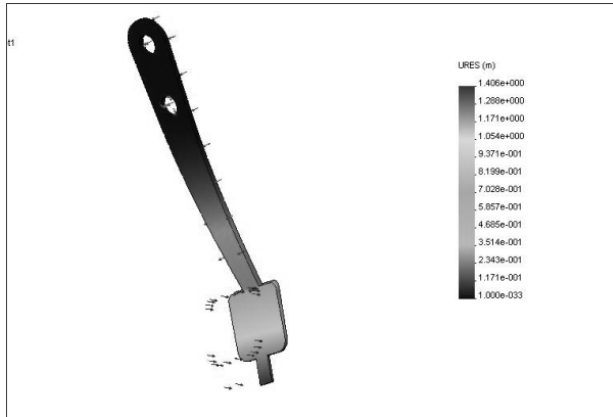


Figura 8. Desplazamientos en pinza-01
Figure 8. Displacement in clip -01

La figura 8, muestra que la zona de mayor desplazamiento se ubica en la parte libre inferior (1.46 mm), debido a que es la zona donde se hace la palanca con el músculo y el hueso generando allí una mayor presión.

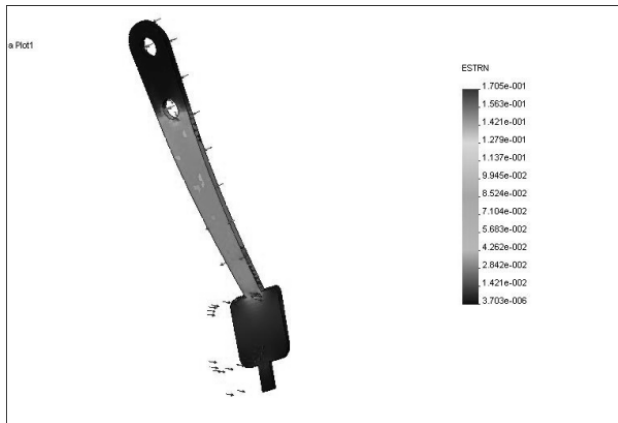


Figura 9. Deformaciones en pinza-01
Figure 9. Shape in clip-01

La mayor deformación unitaria en la pinza se presenta en la sección media, con algunas deflexiones ubicadas en los orificios de la parte superior (Ver Figura 9).

B. Separador de Ollier

A continuación se presentan los análisis de cargas y esfuerzos en el separador de Ollier utilizado para la visualizar el campo operatorio en cirugía de RTC.

Las tensiones aplicadas al modelo se basan en datos obtenidos de Wertheim (1847) [13] respecto a estudios de esfuerzo tensil en los tendones, que muestra que en humanos oscila entre 40 -110 N/mm².



Figura 10. Tensiones en Pinza Ollier.
Figure 10. Tensions in clip Ollier

La figura 10, muestra los estados de esfuerzo flectores en el separador de ollier. La parte inferior de la pinza se coloca en contacto con el tejido y es quien genera la fuerza de retracción del mismo, allí se encontró que los esfuerzos generados en la pinza son del orden de $(1.24 \times 10^3 \text{ N/m}^2)$, mientras que en la zona central se presentan los mayores esfuerzos del orden de $1.22 \times 10^5 \text{ N/m}^2$.

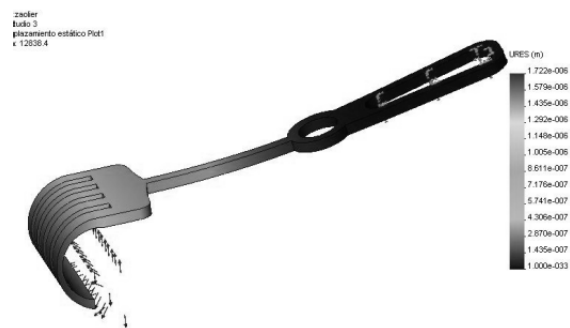


Figura 11. Desplazamientos en pinza ollier.
Figure 11. Displacement in clip ollier

La figura 11, muestra que las zonas de mayor desplazamiento es la zona libre inferior (1.72 mm), donde la pinza entra en contacto con el músculo y el hueso y genera la mayor retracción de tejido, generando una mayor presión en el instrumental

Nombre de modelo: pinzas
 Nombre de estudio: Estudio 3
 Tipo de resultado: Deformación Plot
 Escala de deformación: 1:2000.4

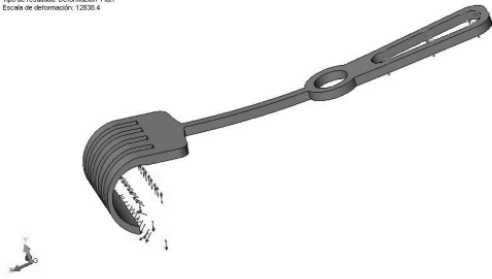


Figura 12. Deformaciones en Pinza- Ollier
Figure 12. Shape in clip-Ollier

En la figura 12, se observa que la zona de mayores deformaciones está localizada en la parte inferior de la pieza, debido a la carga aplicada, generando un daño tanto en el tejido, a la vez que afecta los tiempos y condiciones de uso del equipo quirúrgico.

4. CONCLUSIONES

En general los modelos analizados responden satisfactoriamente a los casos y condiciones impuestas, pues las tensiones no sobrepasan el valor del límite de tracción del material ($5.17 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$), permaneciendo en el rango elástico lineal. Sin embargo se observa que tiempos prolongados de la cirugía de RTC, el instrumental utilizado para separar ocasiona lesiones en el tejido, principalmente en los tejidos blandos.

Se presentan pequeñas concentraciones de tensiones en la parte media de los separadores, ocasionado principalmente por la carga generada por médico cirujano, y dependiendo sobre el tipo de tejido en el cual es aplicada la misma.

Son pocos los estudios desarrollados en esta área, pues siempre se asume que el posible daño ocasionado en el tejido va en función de la persona que genera la carga en el instrumento, y no el diseño del mismo.

El uso de herramientas computacionales, permite generar mejores diseños en el desarrollo de instrumental quirúrgico, con parámetros que minimicen la morbilidad del paciente y genere mayor confort en el equipo quirúrgico.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Libre seccional Barranquilla, por su aporte en la aplicación de los instrumentos.

REFERENCIAS

- [1] FULLER, JOHANNA. Instrumentación Quirúrgica Principios y Prácticas 3ª Edición. Panamericana, Madrid, España. 2003. Pág. 88
- [2] CIFUENTES, JESÚS. Recomendaciones para la prevención de infecciones Quirúrgicas. CHAB. 1999. www.chospab.es
- [3] Brekermans, W.A.M. , A new method to analyse the mechanical behaviour of skeletal prts, Acta Orthop Scand, 43: 301-317,1972
- [4] HUISKES, R. , CHAO , E.Y.S., A survey of finite element analysis in orthopaedics biomechanics: the first decade, Journal of Biomechanics,16: 385-409, 1983
- [5] TOVAR, C., CERROLAZA, M, BENDAYAN, J. Métodos Numéricos en Ingeniería. "Diseño y análisis por elementos finitos de placas para fijación interna de fracturas. G. Bugada y otros Editores. SIMNE, España 2002
- [6] VELASQUEZ,G., GONZALEZ, C., CERROLAZA, M. Métodos Numéricos en Ingeniería y Ciencias aplicadas. "Análisis y diseño por elementos finitos de un nuevo clavo intramedular bloqueado para fracturas diafisirias e intertrocantericas de fémur. M.A. Moleles Editores. CIMNE, Barcelona 2002.Publicaciones IBV. España. 1998.
- [7] CHANDRUPATLA,T.R. Introducción al estudio del elemento finito en ingeniería.. 2da edición. Ed. Prentice Hall, 1999.
- [8] D. GARZÓN, M. ROA, Y C. CORTES. Análisis por elementos finitos del proceso de regeneración ósea. Universidad nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, Bogotá, Agosto 2004
- [9] ARANGO P. CESAR Y OTROS. Reemplazo total de cadera asistido por navegación. Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología. Vol 20 N°3, sept 2006
- [10] ARIZA Y OTROS. Diseño de un separador funcional para reemplazo total de cadera. Tesis de grado. Programa de Instrumentación quirúrgica. Universidad libre de Colombia. 2007
- [11] JOSEPH, SHIGLEY, AND CHARLES, MISCHKE. Diseño en Ingeniería Mecánica. Quinta Edición, Ed. Mc Graw Hill. 1990. México, pp 14
- [12] SOLIDWORKS, 2006.
- [13] LASZLO,J Y OTROS. Human Tendons. Ed. Human kinetics. United State. 1997. pp 163.

Bibliografía Complementaria

- D.S. AMICO, A.P.CISILINO, M.R.SANMARTINO Y C. CAPIEL."Modelo Computacional de estructuras óseas utilizando el método de los elementos finitos y tomografía computarizada. Análisis de la estabilidad de un implante gleno-humeral" MECOM 2005-VII Congreso Argentino de Mecánica computacional. Pp 1895-1912.
- PANERO JULIO Y ZELNIK MARTÍN. Las Dimensiones Humanas en los espacios interiores. GG / México, 1993.
- COMIN M., Y OTROS. Biomecanica articular y sustituciones protésicas. Publicaciones IBV. España.
- C.M, ATIENZA. Diseño de prótesis de cadera de acuerdo con las características antropométricas del paciente. Revista Biomecánica. Instituto de Biomecánica de Valencia., enero 2004, pp 7-9
- ASKELAND, D.R. Y P.P.PHULÉ. Ciencia e Ingeniería de Materiales. Cuarta edición. Ed. Thomson. Mexico 2003