

**TITULO:** Estudio introductorio de la aplicación de la tribología en las artroplastias de las articulaciones humanas.

**TITLE:** Introductory study on the application of the tribology in human articulations arthroplasty.

**AUTORES:**

- (1) Dr. C. Marcelo N. Navarro Ojeda
- (2) Ing. Marcell Navarro Santana
- (3) Dr. Ángel A. Chacón Serrano

**PAÍS:** Cuba

**RESUMEN:**

Se realizó un estudio sobre la aplicación de la tribología en el campo de la Biomecánica en las articulaciones humanas, teniendo en cuenta que todas las articulaciones humanas constituyen sistemas tribológicos. Son sistemas formados por dos cuerpos sólidos separados por un contaminante –lubricante– para evitar la fricción y el desgaste, pero tal y como ocurre en los diversos sistemas mecánicos, esas articulaciones se dañan producto de la fricción y el desgaste. El trabajo trata sobre esos daños y la manera en que la comunidad científica internacional ha venido tratando de solucionarlos a través de la tribología.

**PALABRAS CLAVES:** TRIBOLOGIA, ARTOPLASTIA, ARTICULACIONES HUMANAS.

**ABSTRACT:**

The present study tries on the application of the tribology in the Biomechanics, the application in the human articulations. It is known that all the human articulations constitute tribological systems. These systems are formed by two solid bodies separated by a pollutant (lubricant) to avoid the friction and the waste. But, such and like it happens in the diverse mechanical systems, these articulations are damaged product of the friction and the waste. This work, in fact, tries on these damages and the way in that the international scientific community has come trying to solve them through the tribology.

**KEY WORDS:** TRIBOLOGY, ARTHROPLASTY

**INTRODUCCIÓN**

Recientemente, se ha abierto una línea de investigación sobre Biomecánica entre los especialistas del CE CAD/CAM de la Universidad de Holguín y especialistas de ortopedia de los hospitales: provincial “V. I. Lenin” y Militar. Se trabaja en varios proyectos; uno de los cuales es: “La informática aplicada a la biomecánica: Obtención de multimedia y sistemas de expertos en las artroplastias parciales y totales de hombro, cadera y rodilla”.

Un aspecto de medular importancia lo constituye el diseño de las prótesis articulares. En este contexto se presentan disímiles problemas referidos al

desgaste de las prótesis, su interacción con el paciente y su vida útil. La literatura internacional refiere que las mismas duran como promedio de 5 a 10 años, lo que obliga a pacientes, especialmente jóvenes, someterse a sistemáticas intervenciones quirúrgicas.

El sistema óseo está compuesto por numerosos sistemas tribológicos, que de forma natural, trabajan con una alta precisión y eficiencia, dotando al cuerpo humano de una perfecta estructura articulada. No obstante, por determinadas razones, muchas veces, estas articulaciones fallan; ya sea por eventos traumáticos –accidentes-, o por determinadas enfermedades, regularmente asociadas a la edad del paciente.

Un aspecto interesante lo constituye el determinar como influyen los diversos aspectos tribológicos para el buen diseño y trabajo eficiente de estas prótesis articuladas. La elaboración de las multimedia sobre la artroplastia parcial y total de hombro, cadera y rodilla será objeto de próximos trabajos.

## **MATERIALES Y METODOS.**

En este trabajo se presentan los resultados iniciales de una investigación exploratoria; cuyo objetivo fundamental ha sido determinar la influencia de la Tribología en el diseño de las prótesis articuladas en humanos. Fue revisada una notable cantidad de fuentes bibliográficas en el desarrollo del mismo; así como se consultó a varios prestigiosos especialistas en la rama de ortopedia de los referidos hospitales.

## **RESULTADOS DEL TRABAJO**

A continuación, se muestran algunos de los principales problemas que se vienen presentando en la inserción de las prótesis articuladas en humanos: materiales utilizados en las superficies de contacto, influencia de las partículas de desgaste, etc., durante la artroplastia -cirugía plástica de las articulaciones- total de cadera; problema muy recurrente dentro de la especialidad de ortopedia y de notoria importancia social.

La articulación de la cadera desde un punto de vista de ingeniería mecánica se presenta como un enlace tipo rótula entre dos piezas -la pelvis y el fémur-. En el caso del hombro, la articulación se produce entre la escápula y la cabeza humeral; mientras que en la rodilla se produce entre: la tibia, la patela y el fémur. En todos los casos, todas estas articulaciones están autolubricadas de por vida por el líquido sinovial. Sus superficies de contacto están tapizadas por cartílago -material bifásico: agua y matriz fibrosa sólida- que responde a las presiones como un amortiguador autolubricado de características superiores a las de cualquier mecanismo conocido).

Específicamente en el caso de la cadera, la “avería” más frecuente en esta articulación es el desgaste del cartílago articular; que puede provocar dolor incapacitante. Esta dolencia, cuando no resuelve su mejoría con tratamientos conservadores, exige una intervención quirúrgica para reemplazar las

Estudio introductorio de la aplicación de la tribología en las artroplastias de las articulaciones humanas.

superficies articulares naturales por otras artificiales. Este estudio ha sido dirigido, particularmente, a la artroplastia total de cadera.

### **Pares de fricción alternativos para la artroplastia total de cadera en pacientes jóvenes.**

La artroplastia total de cadera se encuentra entre las intervenciones quirúrgicas más exitosas. Constituye el tratamiento más eficaz de la artrosis de cadera. No obstante, hay al menos dos problemas a los que un paciente joven o activo se enfrenta en relación a su cadera protésica.

1. Utilización más intensa del implante: proporcional a su actividad física (El nivel de desgaste se hace superior).
2. La expectativa de vida del paciente es superior (Lo que conlleva a un número mayor de intervenciones quirúrgicas).

En orden cronológico, los factores que limitan la función y longevidad de una prótesis total de cadera son:

- La técnica quirúrgica empleada.
- La fijación del implante al hueso (Una construcción biomecánicamente sólida y resistente es el fundamento de una prótesis que funciona correctamente).
- La osteólisis (con frecuencia asociada al desgaste de las superficies).
- El fracaso por fatiga de los implantes.

Las caderas generalmente se recambian como resultado de la osteólisis y por la generación de partículas. Excepto en aquellos casos en que el polietileno se desgasta por completo, el desgaste sólo es clínicamente importante si induce una osteólisis progresiva.

El desgaste, la osteólisis y el aflojamiento aséptico pueden limitar la durabilidad de una cadera protésica, independientemente de la combinación de materiales utilizados. En las figuras 1 y 2 se muestra el desgaste del polímero y la osteólisis en una prótesis de cadera.



**Figura 1.** Radiografía de una artroplastia total de cadera. Se aprecia un grado elevado de desgaste del polietileno y osteólisis.

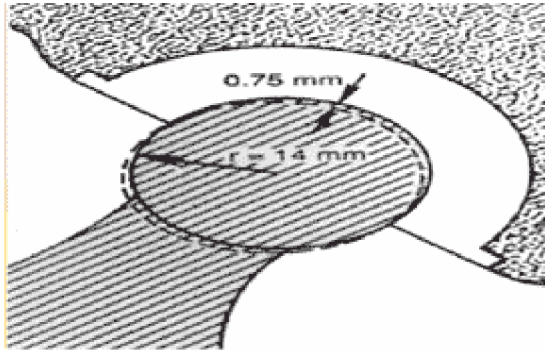


Figura 2. Ejemplo de desgaste del polímero en una prótesis de cadera

El desgaste es muy importante en los reemplazos totales de las articulaciones; donde, las partículas de desgaste juegan un papel primordial. Por esta causa, se debe tenerse especial cuidado con los mecanismos que determinan su producción.

El polietileno, la cerámica y las partículas metálicas de desgaste inducen una respuesta inflamatoria, que puede conducir a la reabsorción ósea periprotésica (osteólisis), tal y como se puede observar en la figura anterior. ¿Pero.....? ¿Cómo se forman esas partículas de desgaste? En la figura 3 se muestra una representación esquemática de este fenómeno (cuando los esfuerzos locales exceden la resistencia a la fatiga de un material, éste fracasa después de un cierto número de ciclos de carga, desprendiéndose fragmentos de su superficie).

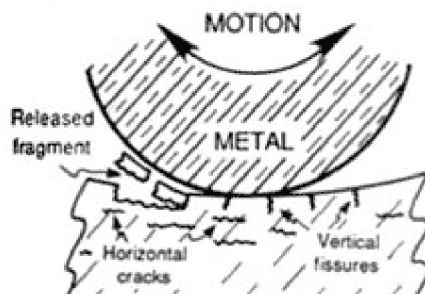


Figura 3. Representación esquemática del desgaste por fatiga superficial.

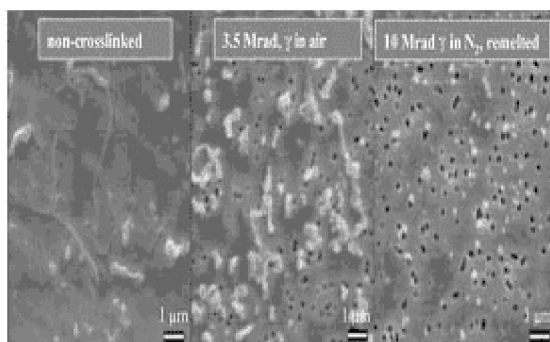


Figura 4. Forma y tamaño de las partículas de polietileno aisladas en estudios con simulador de cadera.

Estudio introductorio de la aplicación de la tribología en las artroplastias de las articulaciones humanas.

En la figura 4 aparecen diferentes tipos, tamaño y concentraciones variadas de partículas de polietileno obtenidas en un simulador de cadera. La mayor parte de las partículas de desgaste del polietileno que se producen en una articulación protésica son de tamaño micrométrico o submicrométrico y se producen en cantidades muy elevadas incluso en articulaciones que funcionan correctamente.

Con el objetivo de reducir el número de partículas de desgaste biológicamente activas se han introducido nuevos pares de fricción en la artroplastia total de cadera.

Existen dos estrategias:

1. Mejorar la resistencia al desgaste del polietileno.
2. Prescindir del polietileno y emplear materiales alternativos, tales como: pares cerámica-cerámica y metal-metal.

La concentración de partículas de desgaste alrededor de las articulaciones protésicas está en relación directa con la duración de su implantación y puede llegar a ser de miles de millones por gramo de tejido.

### **Cabezas femorales de cerámica**

Otra estrategia para reducir el desgaste del polietileno consiste en mejorar las características de desgaste de la cabeza femoral. Una disminución en la rugosidad de la superficie reduce el desgaste del polietileno, siempre que se garantice un contacto elástico entre las asperezas. La figura 5 muestra un ejemplo de desgaste en la cabeza del fémur y en el acetábulo (Cavidad en el hueso Ilíaco). Obsérvese el desgaste progresivo en ambos elementos del par de fricción.

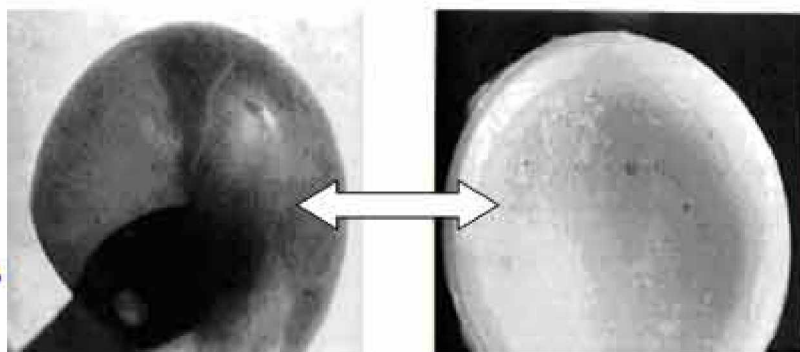


Figura 5. Ejemplos de desgaste en las cabezas femoral y acetabular.

### **Pares de fricción metal-metal**

Inicialmente se achacó el aflojamiento precoz de las prótesis al par metal-metal. En la actualidad se ha reconocido que el aflojamiento se debe a un diseño subóptimo del implante, a un proceso de fabricación inconsistente y a la técnica quirúrgica.

Los estudios con simuladores de cadera con prótesis metal-metal han

mostrado una marcada reducción -más de 200 veces- del desgaste volumétrico, en comparación con las articulaciones convencionales de polietileno.

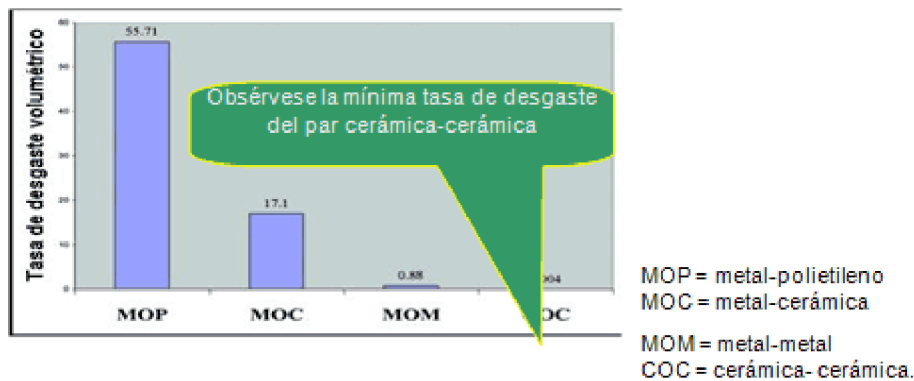


**Figura 6.** Fotografía mostrando una articulación modular metal-metal.

Las articulaciones de mayor tamaño, ver figura 6 -en este ejemplo 36 mm- reducen el desgaste y aumentan el rango de movimiento. La modularidad incrementa las opciones reconstructivas pero al mismo tiempo puede ser una fuente de partículas e iones metálicos.

Las articulaciones de cerámica-cerámica han demostrado tener las tasas de desgaste más reducidas frente a cualquier otro tipo de combinación. Las cerámicas son hidrofílicas, lo que permite un mejor humedecimiento de su superficie. Esto asegura que la capa de líquido sinovial se distribuya de forma uniforme sobre toda la superficie de carga.

La cerámica tiene mayor dureza que el metal y puede pulirse con mucha menor rugosidad de superficie. En la figura 7 se representa la tasa de desgaste volumétrico de diferentes pares de fricción probados en un simulador de cadera.



**Figura 7.** Tasas de desgaste (mm³/año) de diferentes pares de fricción.

**Predicciones numéricas de una prótesis total de rodilla con elemento tibial deformable y microporoso.**

Las prótesis de rodillas actuales, una vez implantadas, no superan, en promedio, los 10 años. Problemas que presentan: Desgaste del polietileno del componente tibial, debido a la fatiga y la delaminación por fricción.

Estudio introductorio de la aplicación de la tribología en las artroplastias de las articulaciones humanas.

En los últimos años, se viene utilizando un método numérico basado en elementos finitos para resolver un modelo unidimensional de lubricación de prótesis de rodilla.

Los resultados muestran que un material poroso de baja rigidez sigue siendo más eficiente mecánicamente que el polietileno no poroso de las prótesis actuales.

Por otro lado, la inclusión de microporos en la estructura del polietileno actual y la inyección intra-articular de una adecuada cantidad de Acido Hialurónico mejoraría las condiciones de lubricación de la junta, generando un proceso de auto lubricación y una disminución del coeficiente de fricción.

### **Metales trabeculares y sus futuras posibilidades en la cirugía reconstructiva.**

El metal trabecular es un biomaterial relativamente nuevo derivado casi siempre del tantalio (Ta), su porosidad es del 80-85% y el tamaño medio de su poro aproximadamente 550 micras.

El tantalio poroso podría tener propiedades mecánicas favorables para los procedimientos de artroplastia.

Se están desarrollando diversas aplicaciones nuevas de metal trabecular para uso en las artroplastias de rodilla y cadera.

Como el desgaste del revestimiento de polietileno debido a su movimiento contra la copa del acetábulo, propicia la osteólisis, la posibilidad de disponer de un componente acetabular monobloque con polietileno extruido dentro de la copa del acetábulo podría ser una solución ventajosa e interesante en su estudio y aplicación.

### **CONCLUSIONES**

1. A través del estudio realizado se pudo establecer la gran influencia que tiene la Tribología en el diseño de las prótesis articuladas en humanos, ya que, se producen fenómenos de fricción, desgaste y lubricación, en estas articulaciones, de total competencia con esta disciplina.
2. Según la literatura consultada, los tipos de desgaste más recurrentes en los pares de fricción articulados, son: el desgaste por fatiga superficial, el adhesivo y el desgaste abrasivo, entre los más importantes.
3. Resultan muy interesantes los estudios realizados, en la artroplastia total de cadera y rodilla, el papel decisivo que juegan el tipo de material, la rugosidad superficial y la lubricación, en el diseño de las diferentes prótesis.
4. Tanto en la artroplastia total de cadera como de rodilla, durante el trabajo continuado de los pares articulares, reviste especial importancia la generación de partículas de desgaste, las cuales introducen efectos

muy negativos, ya que propician un mayor desgaste y producen inflamación en los tejidos.

5. De gran interés resultan los trabajos referidos a la producción de partículas de desgaste y su influencia en el aflojamiento aséptico de las prótesis, debido a la inflamación de los tejidos; así como los trabajos que tratan sobre los diferentes materiales utilizados durante el diseño de las superficies articulares de las prótesis, en las referidas artroplastias, tales como: el polietileno, la cerámica, los materiales trabeculares, etc.

En resumen: Quedan muchas cuestiones importantes sin aclarar: rigidez de los materiales, dimensiones de la esfera protésica, longitud y sección del tallo femoral, coeficientes de fricción y afinidad biológica de las superficies de contacto, resistencia al desgaste, toxicidad eventual de los desechos de desgaste, etc.; donde la comunidad científica internacional viene trabajando. El mayor desafío está en obtener una prótesis, que por sus características estructurales, de funcionamiento, fijación y efectos biomecánicos asociados, como es la producción de partículas de desgaste, etc, posea una vida útil en correspondencia a la expectativa de vida del paciente.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Atlas de Anatomía Seccional / Bo J. Walte... [et al.]. North Carolina: University School of Medicine: Department of Neurobiology and Anatomy: Editorial Winston-Salem, 2005.
2. Atlas Fotográfico de Anatomía del Cuerpo Humano. Yokochi, Rohen y Weinreb. Mexico DF: Editorial Interamericana McGraw & Hill, 1989. 147 p.
3. Jordan, Christopher. Atlas of Orthopedic Surgical Exposures / Christopher, Jordan, Edwin Mirzabeigi. New York: Editorial Thieme, 2000. 227 p.
4. Berli, Marcelo. Predicciones numéricas de una prótesis total de rodilla con elemento tibial deformable y microporoso / Marcelo Berli, José Di Paolo. Argentina: Paraná: Universidad Nacional de Entre Ríos, 2004. 23 t.
5. Brett Levine, Craig. Aplicaciones del tantalio poroso en prótesis totales de cadera / Craig Brett Levine, Della Valle, Jacobs Joshua, J. Chicago; Adult Reconstruction Fellow: Rush University Medical Center, 2006. 11 h.
6. Bucholz, Robert. Fracturas en el Adulto / Robert Bucholz, James Heckman. 5. ed. EEUU: Editorial Rockwood & Green's: Universidad de Texas, 2001. 2278 p.
7. Grosso, Mariela del. Efecto de la Irradiación Iónica en el Polietileno de las prótesis articulares de cadera. Argentina; Universidad Nacional "San Martín", 2006. 122 h. (Tesis de Doctor en Ciencias y Tecnología).
8. Estrada Cingualbres, Roberto. Proyecto: aplicación de la biomecánica computacional a la planificación quirúrgica y el desarrollo de osteosíntesis para la consolidación de fracturas de cadera. Holguín; Universidad "Oscar Lucero Moya", 2008. 7 h.
9. Fanjul Cabeza, José. Artroplastia total de la cadera. España: Oviedo: Hospital Central de Asturias: Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología I. [documento en línea]:



- <http://www.traumazamora.org/articulos/friccion/friccion.html>. [Consultado: 20 abr. 2008].
10. Felip Ros, Antonio. Aportaciones a la biomecánica de las articulaciones humanas y sus sustituciones protésicas / Antonio Felip Ros, Rafael Alonso Claramunt. España; Dpto. de Mecánica Estructural y Construcciones Industriales y Laboratorio de Resistencia de Materiales, 2005.
  11. Fracturas desplazadas de cuello femoral en el anciano: ¿prótesis parcial o prótesis total de cadera? / William Macaulay... [et al.]. New York; University; Center of Hip and Knee Replacement, 2006. 8 h.
  12. Goodfellow, J; Hungerford, D. S; Zindel, M. Patellofemoral joint mechanics and pathology. **J Bone Joint Surg** (Brasil) 58 (B): 287-290, 1976
  13. Gordon Alexander, Darril. Polietileno reticulado en prótesis totales de cadera / Darril Gordon Alexander, D`Lima, Colwell Clifford W. Morton Grove: Illinois Bone and Joint Institute, 2006. 14 p.
  14. Gross, A. E. Hangody L, Minas T. The Surgical Treatment of Articular Cartilage Defects of the Knee / A. E. Gross, L. Hangody, T. Minas. Anual Meeting of ABOS. Florida: Orlando, 2000. (Instructional Course No. 302).
  15. Jacofsky, D. Metales trabeculares: futuras posibilidades en cirugía reconstructiva. **En**: Patología del Aparato Locomotor / D. Jacofsky, A. Anisen, F. Ladero Morales. Madrid: Hospital FREMAP, 2003. p.159-163
  16. Kuitinen, S; Komi, P. V; Kyrolinen, H. Knee and ankle joint stiffness in sprint running. **Med Sci Sports Exerc** (USA) 34(1):166-173, 2002.
  17. Martínez Lotti, Gabriel. Prótesis de cadera. [documento en línea]: <http://www.federada.com> [Consultado: 9 feb. 2008].
  18. Miralles, R.; Miralles I. Biomecánica clínica de las patologías del aparato locomotor. [documento en línea]: <http://www.ergoprojects.com> [Consultado: 20 sep. 2007].
  19. Prótesis de resuperficialización de cadera / Michael A. Mont... [et al.]. Baltimore; Institute for Advanced Osteoarthritis: Center for Joint Preservation and Reconstruction, 2006. 11 h.
  20. Navarro Ojeda, Marcelo. Ciclo de Conferencias del curso de postgrado sobre Tribología. Holguín; Universidad "Oscar Lucero Moya": Centro de Estudio CAD/CAM, 2007. 119 h.
  21. Navarro Ojeda, Marcelo. Ciclo de Conferencias del curso de postgrado sobre Materiales de Explotación. Holguín; Universidad "Oscar Lucero Moya": Centro de Estudio CAD/CAM, 2007. 99 h.
  22. Navarro Ojeda, Marcelo. El Papel rector del diseño de la investigación durante su desarrollo. Venezuela; IUET-LV: Estado de Aragua, 2007. 10 h.
  23. Navarro Santana, Marcell. La Tribología aplicada a la biomecánica: estudio del mantenimiento de artroplastias parciales y totales de cadera. Holguín; Universidad "Oscar Lucero Moya": Centro de Estudio CAD/CAM, 2008. 10 h.
  24. Prótesis de cadera. [Documento en línea]. <http://www.protesiscadera.cl/index.htm>. [Consultado: 25 nov. 2007].
  25. Priolo Francesco. Diagnóstico por imágenes de huesos y articulaciones en las enfermedades reumáticas y ortopédicas. Roma, Italia;

- Universidad Católica del Sagrado Corazón. [Documento en línea]: <http://www.microsoft.com/isapi/redirect>. [Consultado: 14 mar. 2008].
26. Rodríguez Lelis, M... [et al.]. Evaluación del desgaste de prótesis cerámicas de cadera recubiertas con DLC por triboadhesión (Parte I). **Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica** (México) 27(1): 23-30; jun. 2006.
27. Secot. ¿Qué es una prótesis total de cadera? Madrid: España. [Documento en línea]: <http://www.microsoft.com/isapi/redirect.dll=pver.msnhome>. [Consultado: 22 mayo de 2007].
28. Viejo Zubicaray, Manuel. Funcionamiento de las Articulaciones Humanas como un Sistema Tribológico. México; Universidad Panamericana Coordinación Nacional de Ingeniería Biomecánica (CONACYT). [Documento en línea]: <http://stle-ia.org.com> [Consultado: 23 jun. 2008].

Recibido: 12 noviembre de 2009

Aprobado en su forma definitiva: 13 enero 2010

## DATOS DE LOS AUTORES

### Nombre:

- (1) Dr. C. Marcelo N. Navarro Ojeda. Ing. Mecánico. Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular. Profesor de Tribología.
- (2) Ing. Marcell Navarro Santana. Ingeniero Mecánico. Participante del proyecto de investigación: Tribología y Artroplastia. Cuba
- (3) Dr. Ángel A. Chacón Serrano. Doctor en Medicina. Especialista de Primer Grado en Ortopedia

### Correo:

1. [marcelo@cadcam.uho.edu.cu](mailto:marcelo@cadcam.uho.edu.cu), [elyandy1@gmail.com](mailto:elyandy1@gmail.com)
2. [marcell@nh.co.cu](mailto:marcell@nh.co.cu), [mnavarro1979@yahoo.es](mailto:mnavarro1979@yahoo.es)
3. [angelchacon@hvil.hlg.sld.cu](mailto:angelchacon@hvil.hlg.sld.cu)

### Centro de trabajo:

- 1, 2. CE CAD/CAM, Facultad de Ingeniería, Universidad de Holguín, Ave. XX Aniversario, Holguín 80100. Cuba
3. Hospital "V. I. Lenin", Holguín. Cuba.