



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Diseño conceptual de una endo-prótesis de rodilla para personas afectadas por tumores óseos

*Pasillas-Feria Michele Levi¹, Rodríguez-Cañizo Ricardo Gustavo¹, Merchán-Cruz Emmanuel Alejandro¹, Niño-Suarez Paola Andrea¹, Álvarez-Santillán Rodrigo¹

1-Instituto Politécnico Nacional (IPN), Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI), Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME), Unidad Azcapotzalco, Av. de las Granjas No. 682, Col. Sta. Catarina, Del. Azcapotzalco, C.P. 02550, México D.F. Tel. 5729600 ext. 64501.

*mich.feria@gmail.com

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco, Instituto Politécnico Nacional



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

Diseño conceptual de una endo-prótesis de rodilla para personas afectadas por tumores óseos

Resumen

El cáncer de hueso, aunque no es común con relación a otros tipos de cáncer, es un problema que es necesario enfrentar aún con su frecuencia baja.

La aproximación reciente de este tipo de desarrollos se hace normalmente diseñando una bisagra para reproducir los movimientos, dentro de este trabajo se aborda una solución diferente. Basándose en un mecanismo de cuatro barras se espera reproducir la flexión humana y mejorar el diseño de las prótesis que existen por el momento.

El enfoque de este trabajo es meramente conceptual, por lo que esta delimitado en sus alcances hasta el punto de proveer un diseño preliminar del dispositivo, partes específicas, composición y materiales están fuera del alcance de este.

Abstract

The bone cancer, even if it is uncommon compared with other kinds of cancers, is a problem, which needs a solution not being important his low frequency

The recent approximation to this kind of development is normally designing a hinge in order to reproduce the movements, in this paper there's a different approach for the solution. Taking as a start a four-bars mechanism it's expected to reproduce the human flexion and improve the design of the actuals prosthesis.

This paper's approach is only conceptual, and because of this is limited in his results until providing a preliminary design of the device, all the parts, composition and materials are outside of the borders of this paper.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

Palabras Clave

Tumores Óseos, prótesis, mecanismo de cuatro barras, QFD

Introducción

El tumor de hueso es una mutación producida en las partes óseas del cuerpo humano. Aunque este tipo de tumores se pueden dar en cualquier hueso, el marco de este trabajo solo se enfoca en los tumores óseos presentes en el fémur y que afecten parcial o completamente la articulación de la rodilla.

Cuando una persona es afectada por un tumor óseo en la articulación de la rodilla y parte del fémur, la practica normal era la de amputar completamente la extremidad afectada para evitar que la metastatización se extienda mas allá de esta extremidad. Con el tiempo los investigadores cambiaron esta perspectiva al diseñar prótesis de rodilla que pudieran reemplazar a las que estaban afectadas por un tumor óseo. Estos avances han sido muy importantes y han logrado cambiar la perspectiva de los cirujanos hacia los tumores óseos localizados en el fémur y rodilla.

Aunque estos avances son importantes sin duda, las endo-prótesis de rodilla actuales no han podido reproducir los movimientos naturales de la rodilla de una manera fiel. Específicamente, el movimiento de flexión de la rodilla en estas prótesis es hecho a través de una bisagra. Esta bisagra colocada en la parte posterior del dispositivo sobre la parte plana en la que se apoya el fémur gira cuando el paciente trata de dar un paso, este giro al no tener ningún parecido con el comportamiento natural de la rodilla produce un



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

aspecto poco estético en la marcha del paciente y conlleva a problemas de otro tipo como podrían ser psicológicos y fisiológicos.

En este trabajo se plantea la utilización de un mecanismo de cuatro barras cruzado para hacer que el movimiento de flexión en la rodilla sea lo mas parecido posible al movimiento natural. Este mecanismo fue diseñado para hacer que el movimiento de flexión simulará la rotación y la translación que sucede en la rodilla cuando esta se flexiona.

Para este propósito se analizó el mecanismo, así como la velocidad de sus elementos y enlaces. Se graficaron estos con un programa de análisis de mecanismos y se determinaron sus variables. Después de diseñado, el mecanismo es utilizado para reproducir el movimiento de flexión dentro de una endo-prótesis de rodilla.

Metodología

El Despliegue de la función de la calidad o QFD por sus siglas en ingles, es un método para desarrollo de nuevos productos bajo el concepto de la gestión total de la calidad. Es un proceso para convertir sistemáticamente las demandas del cliente en la calidad del diseño y despliega la calidad sobre objetivos de diseño y aseguramiento de la calidad, usadas a través de todo el proceso de diseño. El QFD fue concebido en Japón a finales de los 60 mientras las industrias japonesas se alejaban del desarrollo de productos con el método de la post guerra, el cual era imitar, copiar y desarrollar a través del producto original. Las compañías ya inspeccionaban la calidad, pero en el sitio de manufactura después de que los nuevos productos habían sido fabricados. Para asegurar un desarrollo de producto fiable, Yoji Akao construyó un sistema QFD que considera la calidad, tecnología, costos y confiabilidad simultáneamente. Una de las claves para lograr la mejora continua es que los clientes se involucren en el proceso de desarrollo del producto lo antes posible. Este es el enfoque central del QFD. El Despliegue de la Función de Calidad es una práctica para diseñar los procesos en respuesta a las necesidades de los clientes. QFD traduce lo que el cliente quiere en lo que la organización produce.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

Dentro del diseño de la prótesis se agregan algunas metas de diseño para incrementar su valor posterior, se agregan algunos datos y ambiciones que se relacionan íntimamente con el desarrollo del diseño. A estas metas se les tiene especial cuidado al avanzar en el diseño, ya que son objetivos muy importantes que se plantean para el cliente y para el diseñador. Al diseño de la prótesis también se le agregan variables de costos, por ejemplo, la meta de diseño de costo es que no rebase los \$90 000.00 M.N. Que es el costo de las opciones actuales en el mercado nacional, variables de funcionalidad, por ejemplo, las funciones de la prótesis de rodilla incluirán la posibilidad de correr con ella, variables de características, por ejemplo, mantener el peso en un rango menor a las opciones actuales. Estas metas de diseño son relevantes y es importante rastrear su satisfacción, sin embargo, las metas de diseño son objetivos del diseñador para el diseñador, que se enfoca en lograrlas pero aunque lo ideal es cumplirlas, en ocasiones no es posible, en este caso no afecta de ninguna forma el diseño ni pierde valor pues la metodología ya contempla al cliente, en ocasiones las metas podrían quedar fuera de proporciones lo que indica que fueron mal formuladas, pero nuevamente no afectan el diseño, simplemente se pierde una oportunidad de mejora en el diseño.

Resultados

El QFD y su implementación se divide en fases como se muestra a continuación en una serie de pasos ordenados, al final se asegura tomar en cuenta lo que el cliente esperaba.

En la primera fase se identifican las necesidades del cliente. En esta fase también se establece la jerarquía del cliente. Regularmente son declaraciones no técnicas de lo que el cliente espera del producto.

En esta primera fase los requerimientos encontrados para el proyecto actual se en cuentan ordenadas en la Tabla 1.1.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
 Multidisciplinario
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
 ISBN: 978-607-95635

Se observa que los requerimientos están en palabras simples, verbalizaciones en lenguaje coloquial en su mayoría, con el fin de obtener la esencia de lo que el cliente requiere. Por ahora solo se trata de entender cada uno de los requerimientos dejando de lado tecnicismos que complicarían el asimilarlos.

En la siguiente fase, la de depuración y agrupación, los datos recolectados deben ser distribuidos en varios niveles, se usan cuatro niveles en este caso pero podrían utilizarse los necesarios. Entre menos niveles se tengan es mas fácil su tratamiento.

La importancia de las necesidades del cliente se administran en esta etapa, la importancia es proporcionada por el cliente y se toma una escala del 1 al 5 donde 5 es extremadamente importante.

Dentro de los requerimientos obligatorios se identifican algunos que son imprescindibles, por ejemplo, no contener filos cortantes y no lastimar al usuario. Estos son requerimientos del cliente, sin embargo, esta preestablecido que deben de cumplirse ambos requerimientos de lo contrario no es posible competir con los productos actuales, por lo tanto se consideran intrínsecos como objetivos a cumplir y se eliminan de la lista de requerimientos obligatorios del cliente.

Al tener la ponderación de los requerimientos del cliente deseables es necesario expresar los términos del cliente de lenguaje coloquial a términos que expresen alguna cantidad mensurable, esto con la finalidad de satisfacer los requerimientos de una forma objetiva y específica.

Tabla 1.1.: Requerimientos del cliente de la prótesis tumoral de rodilla.

Requerimientos del cliente
Qué se fabrique en México.
Que pese menos que las opciones actuales.
Qué sea fabricado en diferentes medidas.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
 Multidisciplinario
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
 ISBN: 978-607-95635

Qué se enfoque a pacientes mexicanos.
Si es posible, que se fabrique en una aleación novedosa.
Qué mejore la marcha de los pacientes tratados.
Si es posible, que se expanda o contraiga según sea necesario.
Que sea un sistema ajustable en la longitud de la prótesis.
Que no contenga filos cortantes.
Que no lastime al paciente su uso.
Que tenga un tiempo de vida de alrededor de 30 años.
Mantener las piezas móviles al mínimo.
Que utilice materiales biocompatibles únicamente.
Si es posible, que también se considere el reemplazo de la tibia.
Que este limitada en movimientos, igual que la rodilla natural.
Que su fabricación sea en tiempos reducidos.
Que la sujeción al hueso sea lo mas firme posible.
Que sea resistente a golpes y caídas.
Que ningún material sufra fractura alguna.

La generación de conceptos se basa en una técnica de generación de ideas llamada “brainstorming”, con la cual se llegan a soluciones diversas, las cuales se analizan, se distribuyen, se miden con respecto a otras y finalmente se obtiene la mejor solución en base a una serie de pasos sucesivos.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

En la Tabla 1.2 se observa los conceptos generados para las funciones descritas previamente en el análisis funcional, la flexión de la pierna se separa del resto de las rotaciones porque el movimiento de flexión es muy amplio por lo que es posible generarlo con un mecanismo diferente al de las demás rotaciones de la rodilla que pueden ser logradas con diferentes mecanismos dentro de la rodilla.

De la Tabla 1.2 se obtienen también diversas soluciones que podrían dar como resultado una enorme cantidad de soluciones mezcladas entre si, sin embargo muchas de ellas no son viables o presentan algún tipo de incompatibilidad, esto se evita con la aplicación de filtros para depurar la información y remover las soluciones poco relevantes, o con algún problema para su final ejecución.

Tabla 1.2.: Generación de Conceptos

Funciones	A	B	C	D	E	F
Permitir fijación a tibia	Tornillos	Vástago	Abrazad era	Vástago	Abrazad era	Tornillos
Ajustar el largo del fémur	Módulos de diversos tamaños					
Permitir la adición de módulos	Roscado s	Deslizab les	A presión	A presión	Roscado s	Deslizab les
Permitir fijación al fémur	Abrazad era	Vástago	Tornillos	Vástago	Abrazad era	Tornillos
Permitir movimientos articulares de flexión	Leva	Mecanis mo de 4 barras	Leva	Mecanis mo de 4 barras	Leva	Mecanis mo de 4 barras
Permitir movimientos articulares de rotación excepto flexión	Mecanis mo de 4 barras	Leva	Mecanis mo de 4 barras	Leva	Mecanis mo de 4 barras	Leva



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
 Multidisciplinario
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
 ISBN: 978-607-95635

Amortiguar el peso del individuo	UHWMPPE					
Permitir la verificación de la integridad del ensamble	Líneas de ref.	Pts. de ref.	Plantillas de ref.	Plantillas de ref.	Líneas de ref.	Pts. de ref.

Finalmente el diseño a utilizar para dibujarlo por computadora será el concepto B, el concepto consta de las capacidades necesarias para lograr la satisfacción del cliente, involucra todas las partes necesarias para solventar cada uno de los requerimientos. Esta dotado de respuestas para cada una de las funciones del análisis del problema a solucionar.

El diseño final es mostrado en la Figura 1.1 representa la idea general del diseño concebido mediante el Despliegue de la Función de la Calidad, el diseño es burdo porque es meramente explicativo del planteamiento del problema, hasta este punto se tiene la idea general pero es necesario detallar a fondo cada uno de los elementos que componen el mecanismo para desarrollar la solución final. A partir de este punto termina el diseño en general y empieza el específico.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

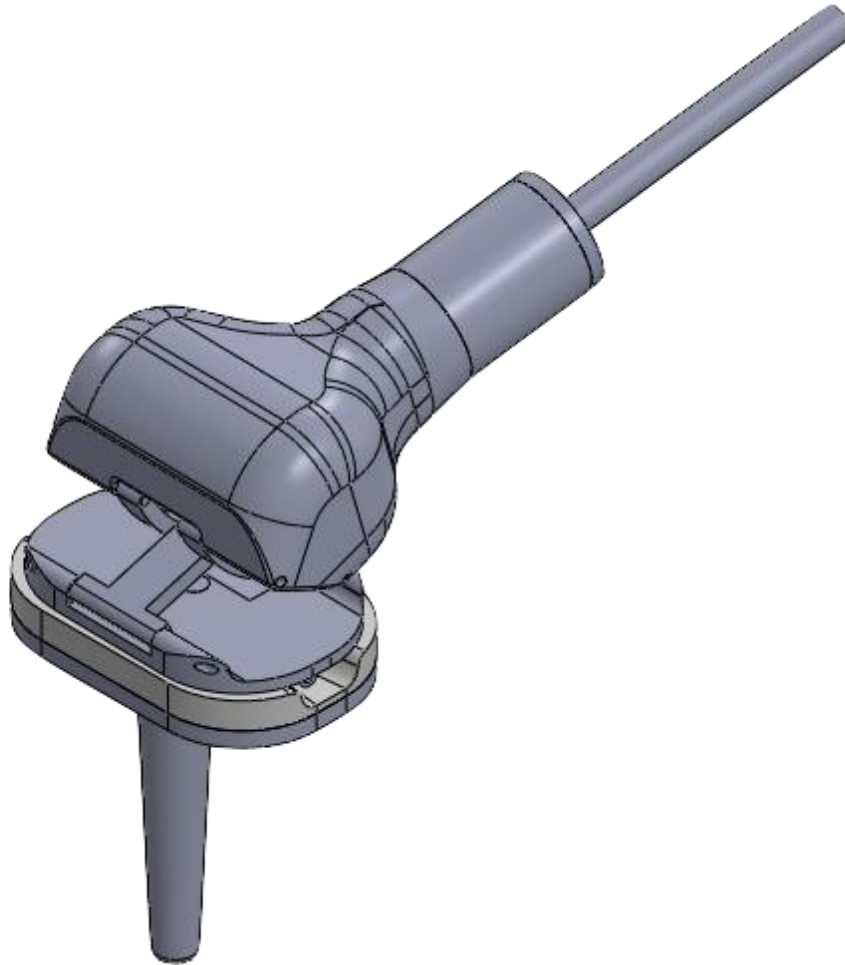


Figura 1.1.: Diseño Conceptual de la prótesis de rodilla.

Conclusiones

Las prótesis actuales ofrecen ciertas características básicas que deben de ser cumplidas.

Las prótesis tienen cierta geometría en común que ha demostrado ser una buena solución.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Los sistemas de prótesis tienen diversos módulos de extensión con lo que se asegura una satisfacción mayor para las necesidades diferentes de los pacientes.

Los materiales con los que están fabricadas la instrumentación médica son aleaciones de titanio y algunos aceros inoxidable, además de componentes fabricados en polímeros, lo cual establece materiales ideales para las prótesis de este tipo.

El QFD es un sistema que busca enfocar el diseño de los productos y servicios en dar respuesta a las necesidades de los clientes.

Al enfocar el diseño al cliente, el producto se compone de todas las partes necesarias para satisfacer una necesidad dada.

El diseño ordenado a través de una metodología evita posteriores trabajos y rediseños, en lo que a conceptos se refiere.

Bibliografía

G. García Arango. Aplicación de la herramienta de despliegue de la función de calidad qfd, en una planta de corte de piezas de ensamble de pantalones, 2007.

D.C. Dahlin. Bone Tumors: General Aspects and Data on 6,221 Cases. Springfield, IL, 3era edition, 1978.

D.C. Dahlin and K.K. Unni. Osteosarcoma of bone and its important recognizable varieties. Am J Surg Path, (1):61–72, 1977.

V.M. Faires. *Diseño de Elementos de Máquinas*. Montaner y Simon S. A., 4ta edition, 1990.

D. Goetsh and D. Stanley. *Introduction to Total Quality*. Merrill, 1997.

A.J. Helfet. *Disorders of the Knee*, chapter Anatomy and mechanics of movement of the knee joint, pages 1–17. J.B. Lippincott, Philadelphia, 1974.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

R.C. Hibbeler. *Mecánica de Materiales*. Pearson Educación, 3era edition, 1997.

V.P. Hutter, J.N. Worcester Jr, and K.C. Francis. Benign and malignant giant cell tumor of bone. a clinicopathological analysis of 218 cases. *J Bone Joint Surg Am*, (52): 619–664, 1970.

H.L. Jaffe. *Tumors and Tumorous Conditions of the Bone and Joints*. Lea and Febiger, 1958.

E.W. Johnson Jr and D.C. Dahlin. Treatment of giant cell tumor of bone. *J Bone Joint Surg Am*, (41):30–414, 1959.

J. Jui-Chin, S. Ming-Li, and T. Mac-Halung. Dfx and dfss: How qfd integrates them. *Quality Progress*, pages 45–51, 2007.

M. Nordin and V. H. Frankel. *Biomecánica básica del sistema musculoesquelético*. Number 0-683-30247-7. McGrawHill, Nueva York, Estados Unidos, 3era edition, 2004.

Robert Norton. *Design of Machinery*. Mc-Graw Hill, Worcester, Massachussets, segunda edition, 1999.

D.K. Ramsey and P.F. Wretenberg. Biomechanics of the knee: Methodological considerations in the in vivo kinematic analysis of the tibiofemoral and patellofemoral joint. *Clinical Biomech*, 14:595–611, 1999.

F. Tamayo and V. González. ¿qué es el qfd? descifrando el despliegue de la función de calidad. *Asociación Latinoamericana de QFD*, 2006.

A. Yoji. Qfd: Past, present and future. *International Symposium on QFD*, pages 1–12, 1997.