

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas  
Facultad de Ingeniería Mecánica  
Departamento de Mecánica Aplicada y Dibujo**



## **Trabajo de Diploma**

***Título: Diseño de Instrumental para injerto osteocondral autólogo por cirugía artroscópica en la osteoartritis de rodilla.***

**Diplomante: Yoelbys Torres Santos.**

**Tutores: Dr. Ing. Feliberto Fernández Castañeda.**

**Dr. Carlos Edel Reyes Torres.**

**Especialista 1er grado en Ortopedia y Traumatología**

**“Año del 45 Aniversario del Triunfo de la Revolución”**

**Curso: 2003 - 2004**

## **RESUMEN**

El presente trabajo aborda la temática relacionada con la Biomecánica médica y en específico lo referente a la cirugía ortopédica y al diseño de instrumentales que faciliten las operaciones quirúrgicas para la colocación de implantes en las enfermedades óseas degenerativas. En la investigación se hace una reseña sobre las generalidades de la biomecánica y sus aplicaciones. Así como del estado de desarrollo de la biomecánica médica, lo cual sirve como vía de familiarización con la terminología médica empleada en el trabajo.

En ese sentido, la tesis se centra en la patología de osteoartritis de rodilla, donde se da una clasificación de las diferentes formas en que se puede presentar. Sobre esa base se efectúa un análisis de las técnicas y tratamientos empleados para la rehabilitación de los pacientes con dicho padecimiento. Se enfatiza en el injerto osteocondral autólogo por cirugía artroscópica ya que es una técnica que se está empleando en países desarrollados con resultados favorables en este tratamiento, la cual se pretende aplicar en los hospitales de la provincia de Villa Clara con el diseño del nuevo instrumental.

Las características del instrumental desarrollado, posibilitan su aplicación en los Hospitales de la provincia, con perspectivas de generalización a otros centros del país e incluso puede constituir un producto con posibilidades de comercialización, sobre todo, en el entorno geográfico cubano.

<b>Indice</b>	<b>Pág</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo I Generalidades de la Biomecánica.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 La Biomecánica como Ciencia.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Breve reseña histórica del desarrollo de la Biomecánica.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Tendencias y desarrollo de la biomecánica humana.....</b>	<b>6</b>
<b>1.3.1 La Biomecánica Médica.....</b>	<b>8</b>
<b>1.3.2 La Biomecánica Ocupacional.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.2.1 Estructura de la Biomecánica Ocupacional.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3.3 La Biomecánica Deportiva.....</b>	<b>10</b>
<b>1.4 La Ortopedia como línea de investigación dentro de la Biomecánica médica.</b>	<b>11</b>
<b>1.4.1 Tendencias futuras de la cirugía ortopédica.....</b>	<b>13</b>
<b>1.5 Los biomateriales.....</b>	<b>14</b>
<b>1.6 Conclusiones parciales.....</b>	<b>16</b>
<b>Capítulo II Morfología de la rodilla dentro del sistema óseo humano.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Características morfológicas de la rodilla.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1 Morfología de la rodilla.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.2 Biomecánica de la rodilla.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2 La enfermedad de la osteoartritis.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.1 Clasificación de la osteoartritis.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.2 Etapas de la osteoartritis.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.3 Diagnóstico de la osteoartritis.....</b>	<b>29</b>
<b>2.3 Principales tratamientos de la osteoartritis.....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.1 Tratamientos no farmacológicos.....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.2 Tratamientos farmacológicos.....</b>	<b>30</b>
<b>2.4 Opciones de tratamientos.....</b>	<b>31</b>
<b>2.5 Injerto de condrocitos.....</b>	<b>32</b>
<b>2.5.1 Composición ultraestructural de los condrocitos.....</b>	<b>32</b>

2.5.2	Fases para el injerto de condrocitos.....	33
2.6	Técnicas utilizadas en la actualidad para el tratamiento de la osteoartritis....	34
2.7	Técnica de mosaicoplastia con injerto osteocondral autólogo.....	35
2.8	Conclusiones parciales.....	37
<b>Capítulo III Diseño de instrumental para autoinjertos de condrocitos en el cartílago articular de la rodilla.....</b>		<b>38</b>
3.1	Descripción general del instrumental desarrollado.....	38
3.2	Caracterización de los elementos para injerto de condrocitos en la rodilla.....	39
3.3	Criterios de selección del material empleado.....	42
3.4	Descripción del instrumental utilizado en la cirugía artroscópica para injerto de condrocitos en la rodilla.....	44
3.5	Procedimiento para la técnica operatoria utilizando el Instrumental diseñado para el injerto de condrocitos en la rodilla.....	45
3.6	Ventajas de la técnica operatoria para injerto osteocondreal autólogo de osteoartritis de rodilla utilizando el instrumental desarrollado.....	49
3.7	Riesgos y limitaciones de la técnica utilizando el instrumental desarrollado...	50
3.8	Conclusiones parciales.....	50
Conclusiones Generales.....		52
Recomendaciones.....		54
Bibliografía.....		55
Anexos.....		58

## INTRODUCCIÓN

La Biomecánica es una ciencia que abarca gran espectro de aplicaciones y de conocimientos generados a partir de utilizar, con el apoyo de otras ciencias biomédicas, los conocimientos de la mecánica y de distintas tecnologías, en la solución de problemas relacionados con esta temática.

Tiene su origen en la Antigua Grecia, resultando interesante las aportaciones más relevantes que en la Biomecánica se han dado a lo largo de la historia. Dentro de las líneas de la Biomecánica, la Biomecánica Médica ocupa un lugar importante que cada día cobra más actualidad.

El presente trabajo está dirigido específicamente a la cirugía ortopédica y se centra concretamente en la enfermedad de la osteoartritis de la rodilla y como reparar el tejido óseo dañado mediante el injerto osteocondral autólogo conocido como mosaicoplastia.

Es necesario destacar que los defectos condrales generados en el cartílago articular de la rodilla, tienden a evolucionar, con el tiempo, hacía procesos de osteoartritis degenerativos los cuales son normalmente tratados mediante la sustitución total de la articulación por una prótesis artificial. Este tipo de tratamiento es aplicado satisfactoriamente en pacientes mayores de 60 años, donde la duración limitada de las prótesis no constituye un problema tan grave para la calidad de vida del paciente. En pacientes jóvenes, por el contrario, este tipo de defectos deben ser solucionados antes de que se generen patologías más severas. En este sentido, las Implantaciones de Condrocitos autólogos (ICA) han sido aplicados en el tratamiento de determinados defectos articulares profundos, derivados de traumatismos o de trastornos de la placa ósea subyacente (osteocondritis disecante).

De todo esto surge la **necesidad** de hallar una solución a esta problemática, la cual podría estar en el injerto osteocondral autólogo en el cartílago dañado de la rodilla empleando la cirugía artroscópica.

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado la idea se concibió mediante el diseño de un instrumental para el injerto osteocondral autólogo por cirugía artroscópica en la osteoartritis de rodilla.

Surge así como **hipótesis** del trabajo:

Es posible contribuir al desarrollo de las técnicas utilizadas en la patología de osteoartritis de rodilla con el diseño de un instrumental que posibilite el autoinjerto de condrocitos en las zonas dañadas del cartílago articular de la rodilla mediante la artroscopia, y así posibilitar la rehabilitación y el mejoramiento de la calidad de vida de estos pacientes.

Para corroborar dicha hipótesis se estableció como **objetivo general** del trabajo el siguiente: Desarrollar el diseño de un nuevo instrumental para el injerto autólogo osteocondral en la osteoartritis de rodilla, supera las limitaciones en el tratamiento actual de esta patología.

Como **objetivos** específicos se tienen:

- Estudiar las técnicas quirúrgicas empleadas en Cuba y en el Mundo para el tratamiento de la osteoartritis de rodilla con vistas a perfeccionar los procedimientos utilizados en nuestro hospital.
- Diseñar un instrumental para el autoinjerto de condrocitos en el cartílago de la rodilla mediante la cirugía artroscópica.
- Elaborar el procedimiento quirúrgico con el empleo del nuevo instrumental, así como valorar las ventajas y limitaciones del instrumental desarrollado.

## **Capítulo I Generalidades de la Biomecánica.**

### **1.1 La Biomecánica como Ciencia.**

La Biomecánica no se considera una ciencia nueva, debido a que durante el paso del hombre por la vida, ha estado estrechamente vinculado con sus aplicaciones. El hombre en su desarrollo desde los tiempos más antiguos, siempre se impuso retos que debían ser superados. Estos retos no eran más que la satisfacción de ciertas necesidades que cada vez se hacían más complejas y difíciles de resolver, en vistas de mejorar su calidad de vida.

Aunque no todas las soluciones a los problemas que ha enfrentado el hombre desde su surgimiento hasta la actualidad, tienen correspondencia con la biomecánica. No es menos cierto que muchas aplicaciones de manera consciente o no, si se corresponden con las premisas de la biomecánica como ciencia, independientemente que no es hasta unas décadas atrás que se comienza a manejar el término de biomecánica, a la solución de problemas que incluye el campo de la biomecánica tradicional en función de los seres vivos. Puesto que esta es ampliamente aplicable a cualquier ser vivo, aunque donde más se ha desarrollado es en la relación directa con el hombre.

En el surgimiento de la biomecánica ejerció una influencia decisiva el desarrollo de la **mecánica**, en particular, su nueva tendencia formada desde los tiempos de Galileo y Newton. Sin embargo, ya Leonardo da Vinci afirmaba que **“la ciencia de la mecánica era la más útil y generosa de todas las ciencias semejantes, porque resulta que todos los cuerpos vivos que tienen movimiento actúan bajo sus leyes”**. La mecánica teórica contiene todas las leyes fundamentales del movimiento mecánico. En biomecánica se comenzaron a utilizar los datos de ciencias autónomas tales como la hidrodinámica y la aerodinámica, la resistencia de materiales, la reología (teoría de la elasticidad, de la plasticidad y del escurrimiento), la teoría de las máquinas y de los mecanismos, etc., estructurados sobre la base de la mecánica general.

La biomecánica como tal es una ciencia que abarca gran espectro de aplicaciones, pero en este caso solo se hace énfasis en la biomecánica que interactúa con el hombre en sí, tomándolo

como cuerpo humano y analizando sus características físico-mecánicas teniendo en cuenta su capacidad y limitaciones. Partiendo de un análisis de este tipo, se pueden plantear los problemas que se le presentan al hombre en este campo y buscar las posibles soluciones que mejoren las cualidades humanas o perfeccione los medios con los que interactúa para aumentar la eficiencia en todos los sentidos.

## **1.2 Breve reseña histórica del desarrollo de la Biomecánica.**

**BIOMECAÁNICA:** Ciencia que aplica las leyes del movimiento mecánico en los sistemas vivos, especialmente en el aparato locomotor, que intenta unir en los estudios humanos la mecánica al estudio de la anatomía y de la fisiología, y que cubre un gran abanico de sectores a analizar desde estudios teóricos del comportamiento de segmentos corporales a aplicaciones prácticas en el transporte de carga, la diagnosis, la cirugía y el diseño de prótesis se encuentran directamente relacionados con ella. Al analizar el movimiento en la persona, la biomecánica trata de evaluar la efectividad en la aplicación de las fuerzas para asumir los objetivos con el menor costo para aquellas y la máxima eficacia para el sistema productivo. Su objetivo principal es el estudio del cuerpo con el fin de obtener un rendimiento máximo, resolver algún tipo de discapacidad, o diseñar tareas y actividades para que la mayoría de las personas puedan realizarlas sin riesgo de sufrir daños o lesiones.

La Biomecánica ha participado de forma directa o indirecta en muchos de los avances de la ciencia y de la tecnología médica. Es una ciencia de enorme actualidad, que tiene su origen en la Antigua Grecia, resultando interesante las aportaciones más relevantes que en la Biomecánica se han dado a lo largo de la historia.

Por ejemplo, el primer libro que contenía conceptos de Biomecánica es seguramente el clásico griego “**Partes de los animales**” de Aristóteles (384-322 A.C.) [29], en el que se presenta una descripción de la anatomía y de la función de los órganos. Aristóteles también escribió el libro “**Movimiento de los animales**”, donde aparecen secciones de animales y del ser humano describiendo el proceso de andar. Aunque estos libros fueron considerados más filosóficos que técnicos o matemáticos, a partir de ellos se puede establecer el comienzo de la Biomecánica.

El famoso artista e inventor Leonardo Da Vinci (1452-1519) también ejerció como anatomista. Sus observaciones del movimiento humano cumplían sorprendentemente la tercera ley de Newton, y consideró temas como el grado de locomoción, correr en contra del viento, la



proyección del centro de gravedad sobre la base de apoyo y el proceso de caminar. Ver figura 1.1.



*Figura 1.1. Estudio del esqueleto humano. Leonardo da Vinci (1452-1519).*

Galileo (1564-1642), quien estudió medicina antes de llegar a ser un famoso físico, descubrió la constancia del período de un péndulo, y lo utilizó para medir el pulso a las personas. Fue el primero en diseñar un microscopio en el sentido moderno. William Harvey (1578-1658), 14 años más joven que Galileo, descubrió en 1615 la circulación sanguínea sin la utilización de microscopio, sino sobre la base de razonamientos lógicos. Tomó como punto de partida los principios de medida de Galileo para establecer que el funcionamiento normal del corazón implica la existencia de la circulación sanguínea. Otro compañero de Galileo, Santorio (1561-1636), utilizó el método de medida de Galileo para comparar el peso del cuerpo en diferentes instantes de tiempo y en diversas circunstancias. Los descubrimientos físicos de Galileo y las demostraciones de Harvey y Santorio dieron un gran ímpetu a la explicación de procesos vitales biológicos mediante la Mecánica. Además, Galileo demostró que las matemáticas son elementos esenciales para el desarrollo de la ciencia, sin las cuales no se podría conseguir un entendimiento adecuado.

Giovanni Borelli (1608-1679) fue un eminente matemático y astrónomo, amigo de Galileo, que clarificó el movimiento muscular y la dinámica del cuerpo, estudiando el vuelo de los pájaros y el nadar de los peces, así como los movimientos del corazón y de los intestinos. Borelli (alumno de Galileo) médico, matemático y físico sentó las bases de la biomecánica como rama de la ciencia en su libro **“Acerca del movimiento de los animales”** (1679). De las ciencias biológicas, lo que más se ha utilizado en la biomecánica han sido los datos de la anatomía y de la fisiología, que se desprendió de ella en los siglos XVI-XVII. Posteriormente, ejerció una gran influencia en la biomecánica la anatomía funcional y, en especial, las ideas del nervismo en la fisiología contemporánea. Así se formaron las tendencias fundamentales en el desarrollo de la biomecánica que existen aún en la actualidad, ellas son: la mecánica, la anatómico funcional y la fisiología.

Thomas Young (1773-1829) estudió la formación de la voz humana, a través de las vibraciones, relacionando éstas con la elasticidad de los materiales, dejando como legado el nombre del módulo de elasticidad o módulo de Young. Jean Poiseuille (1797-1869) determinó la relación flujo-presión en el interior de un tubo. Su más importante aportación fue la de establecer la condición “no-slip” como la condición de contorno más apropiada entre un fluido viscoso y una pared sólida. Su relación empírica, conocida como ley de Poiseuille, se utiliza habitualmente en cardiología.

Hermann von Helmholtz (1821-1894), conocido también como “El padre de la Bioingeniería”, hizo amplias contribuciones en los campos de la óptica, acústica, termodinámica, electrodinámica, fisiología y medicina. Etienne Jules Marey (1830-1904) destacó por sus importantes investigaciones en el campo de la cinemática del aparato locomotor. Fue la primera persona que construyó aparatos de medida para el estudio del movimiento humano, desarrolló la primera plataforma de fuerza donde se podía visualizar las fuerzas entre el pie y el suelo. Van der Pol (1889-1959) modeló el corazón con cuatro osciladores no lineales para simular su funcionamiento, prediciendo un electrocardiograma muy similar a uno real. Muchos otros científicos han contribuido al avance y al desarrollo de la Biomecánica hasta la actualidad.

### **1.3 Tendencias y desarrollo de la biomecánica humana.**

Las tendencias fundamentales de la biomecánica son:

**Fisiológica:** se basa sobre las ideas de la sistematicidad de las funciones del organismo, del aseguramiento energético y las ideas del nervismo, que pone en claro la importancia de los procesos de dirección de los movimientos en la actividad motora. La tendencia mecánica, comenzada con los trabajos de D.Borelli y desarrollada por W.Braune y O.Fischer, está representada en la actualidad en Rusia, así como en los trabajos de muchas otras escuelas, entre ellas EE.UU y Alemania [8].

**Mecánica:** mantiene las ideas básicas relacionadas con la variación de los movimientos bajo la acción de las fuerzas aplicadas y sobre la aplicación de las leyes de la mecánica a los movimientos de los animales y del hombre.

**Anatómico funcional:** conserva las ideas sobre la unidad y la condicionalidad recíproca entre la forma y la función en el organismo vivo [9].

La tendencia **fisiológica** de la biomecánica se formó bajo la influencia de la idea del nervismo, los estudios sobre la actividad nerviosa superior y los últimos datos de la neurofisiología. I.M.Sechenov, I.P.Pavlov, A.A.Ujtomski, P.P.Anoin, N.A.Bernshtein y otros científicos rusos [9], pusieron al descubierto que la naturaleza refleja las acciones motoras y el papel de los mecanismos de la regulación nerviosa durante la interacción del organismo con el medio, lo que conforma el fundamento fisiológico del estudio de los movimientos del hombre. Las amplias investigaciones de los mecanismos reguladores del sistema nervioso central y del aparato neuromuscular ofrecen una idea sobre la complejidad excepcional y la perfección de los procesos de dirección de los movimientos.

Las ideas de I.M.Sechenov sobre la naturaleza refleja de la dirección de los movimientos mediante la utilización de las señales sensoriales, fueron desarrolladas en la tesis de N.A.Bernshtein sobre el carácter en circuito de los procesos de la dirección [9]. Las concepciones neurofisiológicas de N.A.Bernshtein sirvieron de fundamento a la teoría contemporánea de la biomecánica de los movimientos del hombre.

El enfoque mecánico al estudio de los movimientos del hombre, permite, ante todo, determinar la medida cuantitativa de los procesos motores. La medición de los indicadores mecánicos de la función motora resulta totalmente imprescindible para explicar la esencia física de los fenómenos mecánicos. Este es uno de los fundamentos de la biomecánica. Desde el punto de vista de la física, se ponen al descubierto la estructura y las propiedades del aparato locomotor

y de los movimientos del hombre. En este sentido, la tendencia mecánica nunca pierde su importancia.

El enfoque puramente mecánico puede resultar a veces un terreno propicio para simplificaciones irrazonables. Existe cierto peligro de subestimar las especificidades cualitativas de la física del ser vivo; puede ponerse de manifiesto tendencias mecanicistas que explican fenómenos cualitativamente altos, mediante factores mecánicos simplísimos. La interpretación errónea de la biomecánica como una ciencia técnica aplicada a lo vivo, se conserva, reduciendo las posibilidades de conocer la complejidad real de los movimientos humanos y su perfeccionamiento dirigido a un fin determinado.

El enfoque sistémico estructural, como fundamento metodológico del estudio de los movimientos, agrupa las tendencias mecánicas, anatómicas funcional y fisiológica en el desarrollo de la biomecánica.

Las actividades de investigación de la Biomecánica se extienden fundamentalmente a través de los métodos **teórico, experimental y computacional**. El aumento de la esperanza de vida y el consiguiente incremento del nivel de salud, así como el elevado costo que supone la experimentación y la imposibilidad de la personalización de las prótesis, han motivado un mayor protagonismo de la Biomecánica desde el punto de vista computacional.

Los campos de aplicación de la Biomecánica se están desarrollando en la actualidad dentro de tres líneas fundamentales: la biomecánica **médica, ocupacional y deportiva**.

### **1.3.1 La Biomecánica Médica.**

La biomecánica médica se basa en el análisis de las patologías que aquejan al cuerpo humano para generar soluciones capaces de evaluarlas o repararlas. Entre los problemas a resolver se encuentran los siguientes:

**Problemas clínicos en el sistema cardiovascular**, como el análisis de válvulas para el corazón, circulación extracorporeal y máquinas de diálisis. También es esencial en el transplante y sustitución del corazón por uno artificial.

Otro aspecto que se trabaja es la simulación del flujo sanguíneo, teniendo en cuenta que la flexibilidad de las venas y que la sangre no es un fluido sencillo.

**Problemas de traumatología ortopédica.** El mayor auge desarrollado por la Biomecánica médica se encuentra asociado a la ortopedia, debido a que la mayoría de los pacientes de los hospitales en el mundo presentan algún problema músculo esquelético que afecta directamente a su aparato locomotor.

Una de las mayores dificultades con las que se encuentra la Biomecánica médica es la reconstrucción, en la mayoría de las ocasiones compleja, de la geometría del órgano a estudio de una forma automatizada. Para ello se están utilizando potentes herramientas de visualización gráfica y representación geométrica, llegando a reproducir imágenes.

La realización de simulaciones por computadora permite estudiar muchos factores de una forma cuantitativa, mediante la utilización de formulaciones matemáticas que permitan reproducir el comportamiento de los tejidos vivos: el funcionamiento habitual de un órgano desde el punto de vista mecánico, modificación de dicho funcionamiento sobre la base de la alteración de cargas, el buen o mal adecuamiento de un elemento artificial, etc. Además, esta simulación se puede realizar de forma individualizada, teniendo en cuenta las características propias del órgano de cada persona así como su historia previa .

Una de las áreas, dentro de la biomecánica médica, que está adquiriendo cada día más auge es la denominada Biomecánica de Impacto. La cual estudia el conocimiento del impacto en las principales zonas anatómicas, y las circunstancias bajo las cuales el trauma se ha generado. Así como la frecuencia y la importancia de los accidentes de tránsito, las consecuencias del diseño del vehículo, la sensibilidad de las posiciones de colisión en la reconstrucción de accidentes automovilísticos, etc. Uno de los principales objetivos es desarrollar modelos matemáticos del cuerpo humano para simular la respuesta dinámica de los peatones ante un impacto de coche, fundamentalmente en las extremidades inferiores [20,23]. Para ello se suelen utilizar sistemas multicuerpo o modelos de elementos finitos.

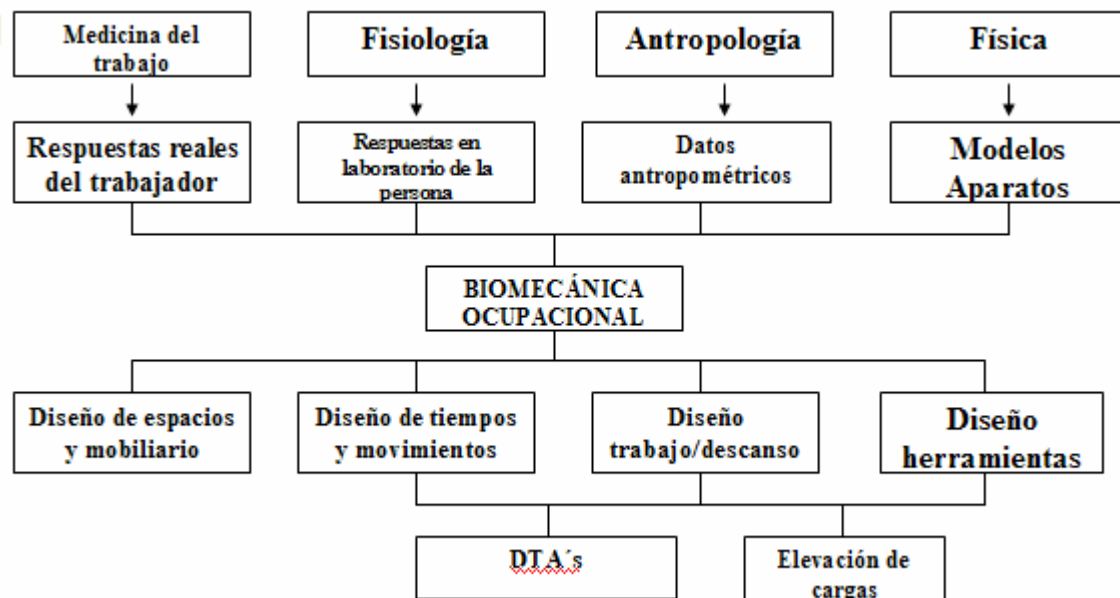
### **1.3.2 La Biomecánica Ocupacional.**

La biomecánica ocupacional estudia al hombre desde el punto de vista de una tarea que debe diseñarse para el 90% de las personas, sin sobrepasar valores que pudieran originar daños. Este campo aporta información muy valiosa para el estudio de las condiciones de trabajo, a la evaluación de riesgos laborales de tipo ergonómico, especialmente los riesgos relacionados con la carga física del trabajo; el diseño de puestos y de tareas para evitar dichos riesgos y

aumentar la eficiencia y el bienestar del trabajador; y, a la adaptación ergonómica de condiciones para personas con discapacidad [20,22].

En los últimos años, tanto la industria como los fabricantes e investigadores han mostrado un creciente interés en el estudio de la relación mecánica que el cuerpo humano sostiene con los elementos que interactúan en diferentes ambientes (ergonomía), destacando sobre todo el laboral, donde la Biomecánica también facilita dicho estudio en diversos aspectos: mejora de la calidad y el funcionamiento de las herramientas, de los puestos de trabajo y de las condiciones ambientales.

### 1.3.2.1 Estructura de la Biomecánica Ocupacional.



### 1.3.3 La Biomecánica Deportiva.

La Biomecánica Deportiva es una disciplina científica que estudia el movimiento humano y la técnica del deportista considerando los principios básicos de la mecánica y las características del aparato locomotor.

El objetivo básico es lograr que el deportista mejore su técnica deportiva y de esta forma, elevar su rendimiento en la competición.

La biomecánica deportiva abre un campo de aplicación donde está ocurriendo un gran avance: el estudio de la práctica deportiva para mejorar su rendimiento, desarrollando técnicas de entrenamiento individualizadas, diseñando complementos materiales y equipamiento de altas prestaciones, etc. La mejora de las técnicas deportivas en los Centros de Alto Rendimiento mediante el estudio y mejora de la cinetodinámica de atletas. Como son, por ejemplo, los casos de nadadores o ciclistas, el diseño de nuevas bicicletas adaptadas a las características anatómicas y el desarrollo motriz de un deportista concreto [21].

La Biomecánica proporciona herramientas suficientes para la rehabilitación de los pacientes que sufren alguna anomalía. Es muy frecuente en el mundo de la rehabilitación estudiar una patología como la marcha humana, ya que se pueden establecer patrones de movimiento que afectan al mecanismo de traslación del cuerpo y su centro de gravedad. Mediante la instrumentación técnica es posible tipificar las anomalías de la marcha y establecer el déficit de forma reproducible, para prevenir o minimizar trastornos, establecer programas terapéuticos personalizados y evaluarlos a lo largo del tiempo.

#### **1.4 La Ortopedia como línea de investigación dentro de la Biomecánica médica.**

La Ortopédica, al igual que muchas otras especialidades se ha desarrollado en base a la necesidad. Una necesidad de corregir la deformidad, restaurar la función y aliviar el dolor. Los cirujanos ortopédicos han desarrollado la capacidad de prevenir la pérdida sustancial de la función corporal y en algunos casos pueden evitar la muerte del paciente. Buscan la perfección en su arte, asegurando que el paciente alcance una condición óptima en el menor tiempo posible utilizando el método más seguro disponible.

Para que la cirugía ortopédica avance de forma óptima, está claro que hay que prestar atención a la historia de la especialidad. El pasado es nuestra base para el progreso futuro y debemos construir sobre él de forma que nosotros también podamos actuar como base para las generaciones futuras. Los primeros años del siglo XX pueden considerarse como una época crucial de la Cirugía Ortopédica. El descubrimiento de los rayos X marca su comienzo y en este momento la cirugía ortopédica empieza a considerarse una auténtica especialidad con entidad propia. Los ingleses todavía dominaban los progresos en ortopedia, pero el nuevo mundo había alcanzado la madurez y los norteamericanos realizaban cada vez más contribuciones. El florecimiento de los conocimientos con la introducción de los rayos X no

fue tan sensacional como se esperaba. En su lugar, el cambio de siglo estuvo marcado por nuevas instituciones y asociaciones que buscaban etiquetar la Cirugía Ortopédica como una línea de investigación individual.

Esta línea de investigación tiene como misión promover el avance de la invención, la innovación, la transferencia y el desarrollo científico y tecnológico en lo relacionado con la biomecánica de la ortopedia, así como el estudio y elaboración de aplicaciones, prototipos de ayudas, y análisis de movimiento que faciliten los procesos de prevención de la discapacidad, rehabilitación funcional e integración social.

Las áreas de estudio son las siguientes:

**Desarrollo de instrumentos y equipos médicos:** Análisis, diseño y construcción de nuevos fijadores externos para reducir fracturas en huesos humanos. Estas investigaciones comprenden, entre otros aspectos, nuevos diseños de fijadores externos e internos para fracturas óseas, desarrollados bajo un riguroso estudio de modelación y simulación numérica. En esto se tiene en cuenta estudios sobre equipamientos e instrumental existentes en el mercado internacional bajo una perspectiva médico-ingenieril auspiciada por grupos de profesionales interdisciplinarios del campo de la Bioingeniería.

**Tratamientos ortopédicos:** Abarca el estudio de innovaciones en procedimientos clínicos y operatorios con el fin de agilizar la rehabilitación del paciente. Esto incluye la factibilidad y pruebas experimentales de la innovación, cuyos resultados permiten comparar el método actual del tratamiento con el propuesto. Paralelamente se desarrollan los instrumentos necesarios en la consecución de este fin.

**Desarrollo de ayudas para la marcha humana y Rehabilitación:** Diseño y fabricación de órtesis, prótesis o aparatos que brinden mayor autonomía y rendimiento a pacientes con deficiencias neuromusculares o ausencia de extremidades.

**Análisis de movimiento humano:** Estudio dinámico de la marcha humana y el análisis computarizado del movimiento humano en general.

**Desarrollo de prótesis e implantes:** El campo de los implantes en la Biomecánica posee una relevancia especial en el campo sanitario y, en particular, los destinados para tratamientos



quirúrgicos en Traumatología, Cirugía Ortopédica, y Odontología, cuyos productos son desarrollados y evaluados basándose en los conocimientos nacidos de esta disciplina.

Las tareas de los bioingenieros son las siguientes:

- Obtener datos necesarios para el diagnóstico médico, mediante procedimientos electrónicos, mecánicos, acústicos u ópticos.
- Intervenir en la creación de condiciones de asepsia y seguridad, mediante la aplicación de equipos de medición y radiación.
- Efectuar el control de la calidad y de las condiciones de funcionamiento de todo tipo de prótesis y órtesis.
- Proporcionar apoyo técnico en los tratamientos médicos que requieran la utilización de instrumental electrónico, mecánico, acústico u óptico.
- Diseñar, proyectar y ejercer la dirección técnica de la producción de tecnología médica. Realizar estudios e investigaciones relacionadas con la utilización de los conocimientos y métodos de la física para la producción de modificaciones en los sistemas biológicos.
- Asesorar sobre las necesidades y utilización de tecnología médica.
- Estudiar las interrelaciones entre los sistemas físicos y los sistemas biológicos.
- Supervisar y coordinar la reparación, mantenimiento y optimización de los equipos médicos.

#### **1.4.1 Tendencias futuras de la cirugía Ortopédica.**

Los desafíos inmediatos a que se enfrenta el actual cirujano ortopédico son: El Proyecto Genoma Humano (la secuenciación de los 23 pares de cromosomas humanos; que será completada en 2005) con las perspectivas de la terapia génica, la clonación humana y el uso de implantes protésicos; el control corporativo de la práctica de la medicina, con los cirujanos rindiendo cuentas a jefes de corporaciones más que a sus pacientes y colegas; la aparición de Internet con un intercambio de información más eficiente y el aumento global de enfermedades, donde los accidentes de tráfico se convertirán en la tercera mayor causa de mortalidad en el año 2020. Estos desafíos están ahí y son intimidatorios, pero con toda seguridad menos aterradores que muchos que se presentaron a nuestros predecesores y maestros.

## **1.5 Los Biomateriales.**

El término biomaterial designa a los materiales de origen no biológico utilizados en la fabricación de dispositivos que interactúan con sistemas biológicos y que se aplican en diversas ramas de la medicina. Inicialmente, la búsqueda de biomateriales adecuados se realizó mediante procedimientos puramente empíricos. Esto ha cambiado profundamente y en la actualidad, pueden definirse la ciencia y la ingeniería de los biomateriales como actividades multidisciplinarias de investigación y desarrollo que ocupan a un número creciente de personas altamente capacitadas.

### ***¿Que es un biomaterial?***

Si bien se propusieron numerosas definiciones, existe consenso en definir a un biomaterial como: un material no biológico usado en un dispositivo médico, destinado a interactuar con sistemas biológicos.

En esta definición están comprendidos materiales muy diferentes tales como los metales, los cerámicos o los polímeros, tanto naturales como sintéticos. Habitualmente se utilizan en forma de materiales compuestos en los que la asociación de dos o más sustancias con características propias forma un nuevo material cuyas propiedades son superiores a la de cada uno de sus componentes, para los fines de la aplicación que se le quiere dar.

Sobre la base de la duración y la forma del contacto que se establece con el organismo, los biomateriales suelen clasificarse como de uso temporal o permanente y de localización intra o extracorpórea. Desde el punto de vista de su función se pueden distinguir entre ellos los dispositivos destinados al soporte, al diagnóstico o al tratamiento. Algunos biomateriales contienen drogas y son considerados medicamentos, otros pueden incluir células vivas y construir los llamados híbridos. También hay biomateriales que incluyen compuestos capaces de responder a señales provenientes del medio biológico que reciben el nombre de materiales inteligentes.

Los requisitos que debe cumplir un biomaterial son:

1. Ser biocompatible, es decir, debe ser aceptado por el organismo, no provocar que éste desarrolle sistemas de rechazo ante la presencia del biomaterial.

2. No ser tóxico, ni carcinógeno.
3. Ser químicamente estable (no presentar degradación en el tiempo) e inerte.
4. Tener una resistencia mecánica adecuada.
5. Tener un tiempo de fatiga adecuado.
6. Tener densidad y peso adecuados.
7. Tener un diseño de ingeniería perfecto; esto es, el tamaño y la forma del implante deben ser los adecuados.
8. Ser relativamente barato, reproducible y fácil de fabricar y procesar para su producción en gran escala.

Los biomateriales tienen un campo de aplicación muy amplio que se extiende desde dispositivos de uso masivo y cotidiano en centros de salud como es el caso de jeringas, vendajes, catéteres, bolsas para suero y sangre, y recipientes para residuos, hasta sofisticadas piezas que se emplean para promover la regeneración de tejidos o para reemplazar órganos. Los dispositivos contruidos con biomateriales están cobrando creciente importancia y su número aumenta continuamente. La prevención, el diagnóstico y el tratamiento de muchos trastornos de la salud se han hecho posibles merced a la existencia de nuevos materiales y de formulaciones, y dispositivos que participan en ellos. En la actualidad, en muchos casos, los biomateriales se han convertido en los factores determinantes de la factibilidad y del éxito de una determinada práctica médica.

A partir de todo lo abordado anteriormente es importante destacar la importancia de las aplicaciones en general de la biomecánica médica y en particular en la ortopedia que es la esencia del presente trabajo. Es por ello que para solucionar problemas relacionados con este campo se necesita tener conocimientos tanto médicos como ingenieriles (mecánicos). Lo cual requiere de un estudio de varias temáticas, algunas muy relacionadas entre sí, como son: la morfología del esqueleto, los biomateriales y el instrumental y dispositivos empleados para la cirugía artroscópica. Así como otras herramientas computacionales y de la especialidad de la mecánica que necesariamente deben vincularse para obtener un resultado. Como son el caso del diseño mecánico, la modelación y la simulación en computadora.

## **1.6 Conclusiones Parciales.**

1. La biomecánica es una ciencia con gran conocimiento de los diferentes sistemas del cuerpo humano, desarrollando sus aplicaciones en la rama deportiva, ocupacional y medica.
2. Una de las mayores dificultades con que se encuentra la biomecánica es la reconstrucción de la geometría del órgano a estudio de forma automatizada debido en su mayoría por su gran complejidad.
3. Las potentes herramientas con que se cuentan han posibilitado la diagnosis por tratamiento de imágenes de una vital importancia para diagnosticar a través de imágenes la existencia de tumores en los pacientes.
4. Los mayores logros dentro de la biomecánica médica se encuentran asociados a la ortopedia, la cual ha permitido el diseño de diferentes implantes que ayudan a reducir y reparar fracturas óseas, todo esto ha sido posible debido a la gran incidencia de los problemas con el sistema músculo-esquelético el cual afecta directamente el aparato locomotor.

Sobre la ortopedia se pudo conocer que su misión fundamental es promover la innovación y el desarrollo científico-tecnológico en lo relacionado con el estudio y elaboración de aplicaciones, prototipos, y análisis de movimiento, que faciliten los procesos de prevención de la discapacidad, rehabilitación funcional e integración social.

## ***Capítulo II Morfología de la rodilla dentro del sistema óseo humano.***

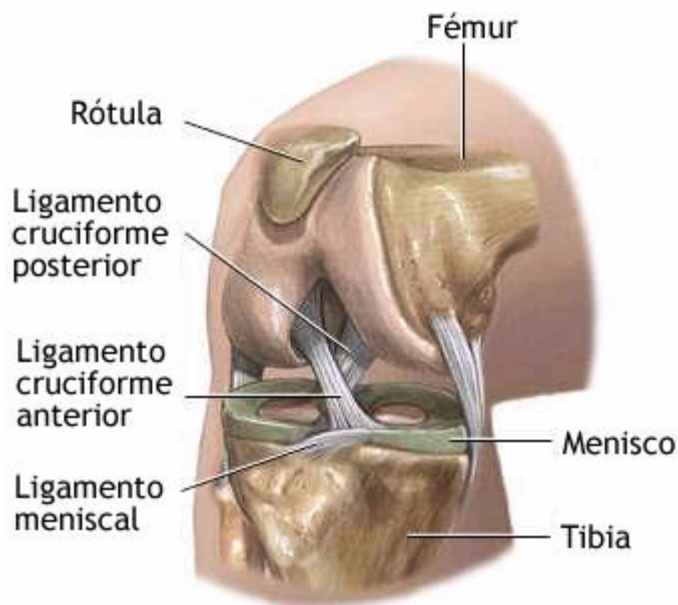
En este capítulo se presenta la morfología de la rodilla como parte integrante del aparato locomotor con el propósito de conocer la terminología, características geométricas y propiedades de cada uno de ellos. Se hace un recorrido por las distintas partes de la anatomía de la rodilla. Esta descripción es necesaria para un conocimiento correcto de la forma de cada uno de ellos y comprender el funcionamiento de los mismos y familiarizarse con la nomenclatura médica establecida. También es necesario para poder enfrentar la tarea del diseño de un dispositivo.

### **2.1 Características morfológicas de la rodilla.**

Dentro de los huesos que conforman el esqueleto, la rodilla constituye un elemento básico del aparato locomotor. Por lo que resulta necesario realizar una breve descripción de las diferentes partes que conforman la articulación de la rodilla. Para familiarizarse con la nomenclatura médica utilizada. Lo cual es necesario para el análisis correcto de la geometría de cada uno de ellos y comprender el funcionamiento de este elemento en el aparato locomotor humano.

#### **2.1.1 Morfología de la rodilla.**

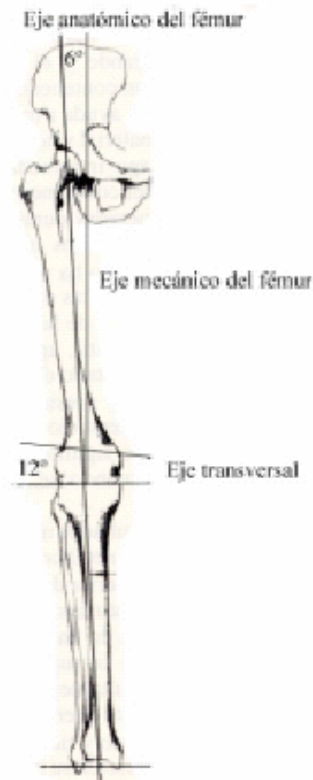
La rodilla es la articulación más grande del cuerpo humano. Es la estructura que se encarga de la transmisión de cargas en el miembro inferior y participa en el movimiento del mismo. Está dotada de un complejo mecanismo de funcionamiento, debido a las funciones opuestas de las que se encarga. Por un lado, debe poseer gran estabilidad cuando la extensión es completa, posición en la que la rodilla soporta todo el peso del cuerpo sobre una superficie relativamente pequeña, por lo que la presión soportada en los huesos de contacto en la articulación será considerable. Pero al mismo tiempo, debe estar dotada de una gran movilidad, necesaria para el ejercicio de correr o andar. En la figura 2.1 se puede observar cada una de las partes de la rodilla [36].



*Figura 2.1 Anatomía de la rodilla.*

En la rodilla se distinguen tres partes principales: el fémur inferior, la tibia superior y la rótula (Figura 2.1). También se debe incluir el peroné aunque durante los diversos movimientos de la rodilla permanece siempre solidario a la tibia. La articulación de la rodilla se conforma, por parte del muslo, por dos superficies óseas ovoideas de tipo condíleo, los cóndilos femorales, y por parte de la pierna, dos superficies más o menos planas, los platillos tibiales. En su parte anterior, esta articulación está completada por la rótula, que tiene forma aplanada e irregularmente circular. Desde un punto de vista funcional, estos elementos óseos se disponen en dos articulaciones dentro de la rodilla: Por un lado, los cóndilos femorales se articulan con los platillos tibiales, conformando la articulación femoro-tibial. Por otro lado, las dos vertientes de la superficie articular de la rótula se corresponden con las dos carillas de la tróclea femoral, constituyendo la articulación femoro-patelar. Ambas articulaciones constituyen la articulación de la rodilla. Los ejes principales de la articulación son mostrados en la (Figura 2.2), así como las vistas generales de las posiciones que ocupan los huesos dentro de la misma. En el plano frontal; una línea que una los centros de las articulaciones de la cadera y del tobillo pasará a través del centro de la articulación de la rodilla. Esta línea representa el eje mecánico del miembro inferior. Por consiguiente, el eje longitudinal de la diáfisis del fémur está inclinado formando un ángulo con el eje longitudinal de la diáfisis de la tibia. Este ángulo diafisario tibiofemoral suele ser de  $8^\circ \pm 3^\circ$ , y es el ángulo medido en las radiografías anteroposteriores de la articulación de la rodilla en extensión completa. Este

ángulo ha recibido el nombre de valgo fisiológico. En el plano sagital, los cóndilos femorales tienen un radio de curvatura variable, que disminuye de delante hacia atrás. En el plano transversal, los cóndilos divergen de delante hacia atrás en un ángulo de 20°. La superficie articular del extremo superior de la tibia (platillos tibiales) es perpendicular al eje longitudinal de la diáfisis de ésta, tanto en el plano sagital como en el frontal [36].



*Figura 2.2 Ejes principales de la rodilla.*

Los cóndilos femorales (Figura 2.3), son asimétricos en forma y dimensión y sus ejes anteroposteriores no son paralelos, sino que divergen hacia atrás, presentando el interno una divergencia más acusada. En un corte sagital se aprecia como el radio de curvatura de las superficies condíleas no es uniforme, sino que sufre variaciones.



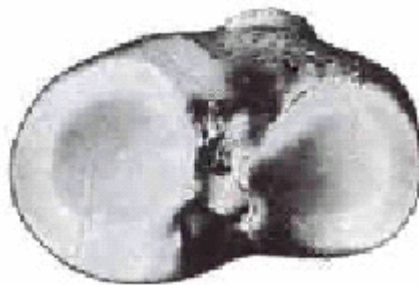
*Figura 2.3 Vista posterior y anterior de la zona inferior del fémur.*

Los patillos tibiales se sitúan en la parte superior de la tibia (Figura 2.4 y Figura 2.5). Estas superficies articulares de la rodilla, se hallan conformadas de forma tal que la transmisión de fuerzas, a través de los cóndilos femorales, sea lo más uniforme posible, y además debe permitir los movimientos de rotación interna y externa que se realizan en el plano transversal. Este aspecto funcional determina la forma de los patillos tibiales.



*Figura 2.4 Vista posterior y anterior de la zona superior de la tibia y peroné.*

El patillo tibial interno es más alargado en sentido anteroposterior y cóncavo en sentido anteroposterior y transversal. Su centro de curvatura está situado por encima de él y su radio mide aproximadamente 80 mm. El patillo externo es más ancho y menos largo que el interno, siendo también cóncavo en sentido transversal, pero convexo en sentido anteroposterior con un radio de aproximadamente 70 mm. Ambos patillos tienen una inclinación posterior respecto a la diáfisis tibial de unos 10°.

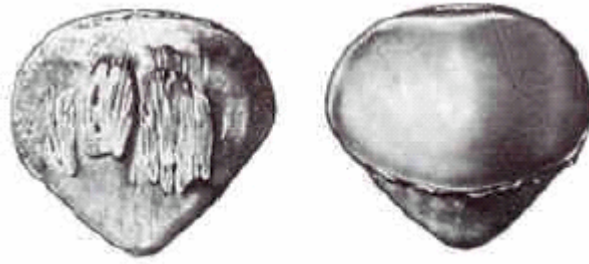


*Figura 2.5 Vista superior de la tibia (patillos tibiales).*

La rótula presenta en su cara posterior una cresta redondeada y de dirección vertical destinada a articularse con la tróclea del fémur y limitada lateralmente por dos caras planas o ligeramente cóncavas que se corresponden con las carillas laterales de la tróclea femoral (Figura 2.6). La rótula no se desplaza en sentido transversal, sino que solo lo hace verticalmente debido a la ranura del fémur y aplicada fuertemente por el cuádriceps según el



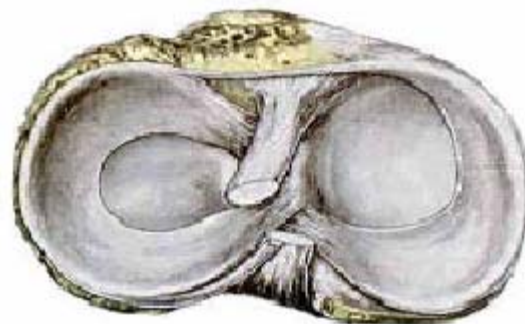
grado de flexión de la rodilla. De tal forma que, cuanto más acentuada sea la flexión, mayor será la compresión de la rótula sobre la tróclea femoral.



*Figura 2.6 Vista posterior y anterior de la rótula.*

A pesar de sus pequeñas dimensiones, está destinada a transmitir las mayores presiones que se producen en el aparato locomotor, imprescindibles para que un individuo corra, salte, etc. A pesar de las grandes presiones que debe soportar, nunca llega a utilizar toda la superficie articular disponible de contacto sobre el fémur [9, 12, 36].

Los meniscos son dos láminas en forma de media luna, que hacen más profundas las superficies del extremo superior de la tibia en su articulación con los cóndilos femorales. El borde periférico, adherido sobre la tibia de cada menisco es grueso y convexo mientras que el borde libre es fino y cóncavo. Las superficies superiores de los meniscos son suaves y cóncavas y están en contacto con los cóndilos del fémur; las inferiores son suaves y lisas y descansan sobre la tibia. Cada una cubre, aproximadamente, los dos tercios periféricos de la correspondiente superficie articular de la tibia (Figura 2.7).



*Figura 2.7 Menisco interno y menisco externo.*

El menisco interno (o medial) es casi semicircular en su forma (tiene unos 3,5 cm de longitud), pero es más ancho por detrás que por delante. En el corte transversal tiene forma triangular y es considerablemente más ancho en la parte posterior que en la anterior. Su extremo anterior está unido al área intercondílea de la tibia, por delante del ligamento cruzado anterior, continuándose sus fibras posteriores con el ligamento transverso, una banda fibrosa de grosor e identidad variable que conecta el cuerno anterior del menisco interno con el menisco externo. El extremo posterior del menisco se fija al área intercondílea posterior de la tibia, entre las uniones del menisco lateral y el ligamento cruzado posterior. Su borde periférico está unido a la cápsula fibrosa y se adhiere firmemente a la superficie profunda del ligamento lateral interno.

El menisco externo (o lateral) forma aproximadamente las cuatro quintas partes del anillo completo, cubriendo un área mayor de superficie articular que el menisco interno. Posee la misma anchura en toda su extensión y está surcado, lateralmente, por el tendón poplíteo, que lo separa del ligamento lateral externo. Su extremo anterior se inserta por delante de la eminencia intercondílea de la tibia, por detrás y lateralmente al ligamento cruzado anterior. El extremo posterior se inserta por detrás de la eminencia intercondílea, por delante del extremo posterior del menisco interno.

### **2.1.2 Biomecánica de la rodilla.**

Debido a la complejidad de la articulación y la posición relativa de los distintos elementos que componen la rodilla se han realizados estudios de la estabilidad de la rodilla y una descripción del movimiento de la articulación durante el proceso de caminar. La articulación de la rodilla presenta movimientos de flexión, de extensión y de rotación. También se pueden imprimir ligeros movimientos pasivos laterales, pero son mínimos.

***Flexión y Extensión.*** Estos movimientos se realizan alrededor de un eje transversal que pasa por los cóndilos. La flexión aproxima la cara posterior de la pierna a la cara posterior del muslo, mientras que la extensión la aleja. La amplitud del movimiento desde la extensión hasta la flexión extrema mide entre 130° y 150°. Estos movimientos se llevan a cabo mediante la combinación de movimientos de rodamiento y deslizamiento, que se efectúan simultáneamente.

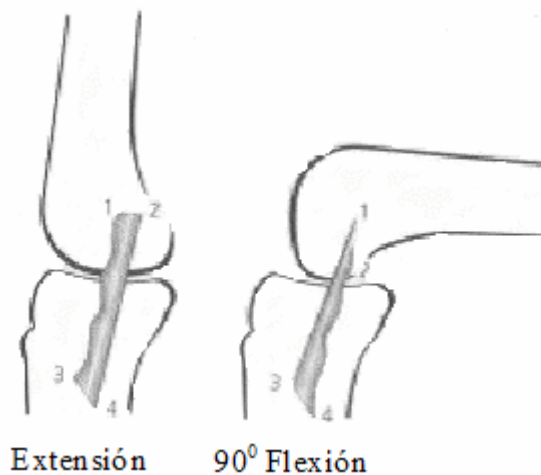
***Rotación.*** Este movimiento se produce alrededor de un eje vertical que pasa por la eminencia intercondílea de la tibia. Los movimientos de rotación son nulos cuando la pierna se halla en

extensión, a consecuencia de la tensión de los ligamentos cruzados y colaterales. Presentan su máxima extensión en la semiflexión.

En la estabilidad medio lateral la estructura anatómica más importante es el ligamento lateral interno superficial. Debido a la inclinación hacia abajo y adentro del eje femoral, la fuerza aplicada al extremo superior de la tibia no es estrictamente vertical, lo cual permite descomponerla en una fuerza vertical y en otra transversal que se dirige horizontalmente hacia adentro. A este desplazamiento se oponen todas las fibras del ligamento lateral interno [9].

A medida que la rodilla se flexiona, el borde anterior del ligamento lateral interno superficial se pone tenso, las fibras posteriores se aflojan y permanecen relajadas durante toda la flexión. Por el contrario, en la flexión son las fibras posteriores las que se encuentran tensas y las anteriores se relajan (Figura 2.8).

Para la estabilidad lateral no existe un estabilizador principal, sino que esta función se la reparten varios ligamentos: el ligamento lateral externo, el tendón del poplíteo junto con el ligamento arqueado y el ligamento cruzado anterior, aunque en los primeros 45° de flexión el ligamento lateral externo tiene una acción predominante. La banda iliotibial se ve implicada entre los 15° y 30° de flexión. A medida que aumenta la flexión y se relaja dicha banda, el tendón del bíceps crural puede convertirse en un importante estabilizador.



*Figura 2.8 Movimientos de flexión extensión.*

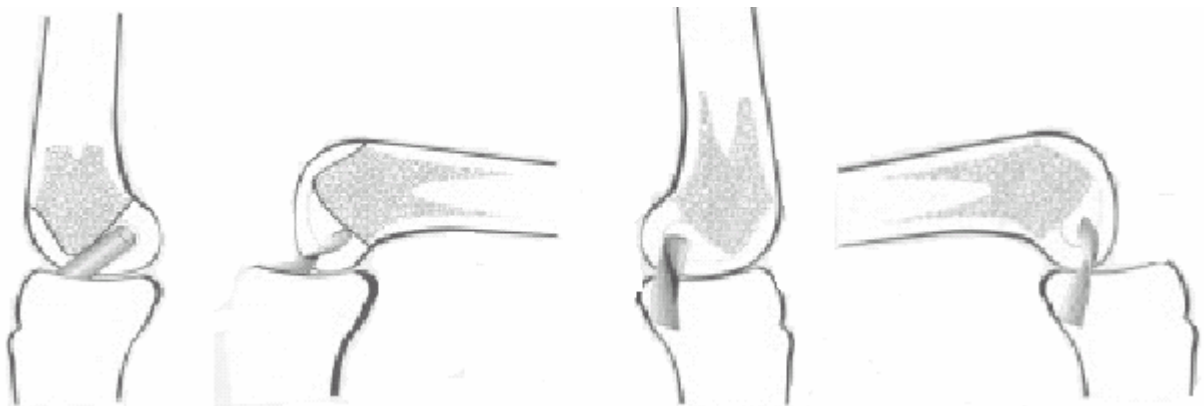
Respecto a la estabilidad anteroposterior la rodilla se comporta de forma distinta según se encuentra en flexión ligera o en hiperextensión. En posición de ligera flexión, la fuerza que representa el peso del cuerpo pasa por detrás del eje de flexión-extensión de la rodilla, y la flexión tiende a autoincrementarse si no interviene la contracción del cuádriceps, por lo que en

esta posición el cuádriceps es indispensable en la posición erecta. En el caso de que la rodilla esté en hiperextensión, ésta queda bloqueada por elementos cápsulo-ligamentosos posteriores y musculares accesorios que hacen posible mantener la posición erecta sin la intervención del cuádriceps.

El papel de los ligamentos cruzados es muy importante, ya que, aseguran la estabilidad anteroposterior de la rodilla y permiten los movimientos de charnela, mientras mantienen el contacto entre las superficies articulares.

El cruzado anterior está constituido por dos partes, una banda anterointerna y una posteroexterna. En extensión la parte posteroexterna se encuentra en tensión, mientras que en la flexión es la banda anterointerna la que proporciona la contención primaria contra el desplazamiento anterior de la tibia. El ligamento cruzado anterior actúa contrarrestando la hipertensión (Figura 2.9).

El cruzado posterior está formado por dos partes inseparables. Una porción anterior forma la masa del ligamento y una posterior más pequeña corre oblicuamente en dirección a la parte posterior de la tibia. En extensión la masa del ligamento se relaja y pone tirante y la pequeña banda posterior se relaja. El ligamento cruzado posterior impide la inestabilidad posterior en la rodilla (Figura 2.9).



*Figura 2.9 Posición de los ligamentos cruzados anterior (izquierda.) y posterior (derecha.).*

## **2.2 La enfermedad de la Osteoartritis.**

La osteoartritis conocida por sus siglas (OA) es una enfermedad degenerativa que se produce al alterarse las propiedades mecánicas del cartílago y del hueso subcondral y que, a su vez, es expresión de un grupo heterogéneo de patologías de etiología multifactorial, con

manifestaciones biológicas, morfológicas y clínicas similares. La osteoartritis es el tipo más común de artritis, especialmente entre personas de edad avanzada, es una enfermedad de las articulaciones que afecta primordialmente al cartílago. El cartílago es un tejido resbaloso que cubre las partes extremas de los huesos en una articulación, permite que los huesos se muevan deslizándose uno sobre el otro, absorbe la tensión que produce el movimiento físico [16]. En la osteoartritis, la superficie del cartílago de la articulación afectada se vuelve áspero y se desgasta, a medida que la enfermedad progresa, se desgasta el cartílago hasta tal grado que las terminaciones óseas comienzan a rozar unas con otras, es posible que se desarrollen espolones óseos alrededor de la articulación, los cuales causan dolor e inflamación. En la figura 2.8 se muestra la articulación de la rodilla.



*Figura 2.10 Vista de la articulación de la rodilla. En A el espacio articular está preservado y el cartílago está íntegro. En B, la pérdida del cartílago ha disminuido el espacio articular.*

Aunque las causas de Osteoartritis no son completamente conocidas, se sabe que en el desarrollo de la enfermedad intervienen factores bioquímicos, biomecánicos, inmunológicos y de la respuesta inflamatoria. La teoría más generalizada defiende que se produce un desequilibrio entre el programa catabólico y el anabólico del condrocito, provocando un desequilibrio entre la síntesis y la degradación de la matriz extracelular (MEC) del cartílago articular. El resultado final es una destrucción acelerada de la MEC, principalmente por las enzimas proteolíticas procedentes de los propios condrocitos y de las células sinoviales,

seguida por alteraciones en los sistemas de reparación del cartílago. En cuanto a los factores de riesgo que se asocian con el desarrollo de la osteoartritis se puede señalar los siguientes:

#### Factores no modificables

- Factores genéticos.
- Sexo femenino.
- Edad (mayor edad).

#### Factores modificables

- Obesidad (IMC>30).
- Ocupación y actividad laboral.
- Práctica de deporte profesional.
- Alteraciones de la alineación.
- Traumatismos previos.
- Densidad mineral ósea.
- Malformaciones congénitas.
- Menopausia.
- Tabaco.

Herencia: En algunas familias, la Osteoartritis puede resultar por un defecto hereditario en uno de los genes responsables del colágeno, uno de los componentes proteínicos principales del cartílago. Esto resulta en cartílago defectuoso y que se deteriora con mayor rapidez. Es posible que durante la juventud tales problemas no presenten ninguna dificultad, pero con el paso del tiempo las articulaciones pueden ir desgastándose. Las mujeres que estén predispuestas a esta afección debido a factores hereditarios, podrían desarrollar nódulos óseos en las articulaciones de la rodilla [17].

Las personas que nacieron con leves defectos que impiden que las articulaciones encajen y se muevan correctamente, tal como piernas arqueadas o una cadera con anomalías congénitas, podrían ser más propensas a desarrollar Osteoartritis. Nacer con flojedad (articulaciones muy flexibles) también aumenta la tendencia a desarrollar Osteoartritis.

Obesidad: Los estudios indican que la obesidad incrementa el riesgo de Osteoartritis en la rodilla. Los investigadores descubrieron que el peso corporal durante los años medios y tardíos parece ser el factor de mayor importancia en cuanto al riesgo de que una persona desarrolle

osteoartritis de la rodilla, en especial durante el período de ocho a 12 años antes de que aparezcan los síntomas. Por lo tanto, evitar el aumento excesivo de peso a medida que pasan los años o perder el exceso de peso podría ayudar a prevenir la enfermedad.

Lesión o uso excesivo: Algunas personas desarrollan osteoartritis en ciertas articulaciones debido a lesiones o usos excesivos de tipo específico. Un historial de lesiones significativas en la rodilla o cadera aumenta el riesgo de que desarrolle osteoartritis en dichas articulaciones. Por ejemplo, los jugadores de fútbol o de balompié que sufren lesiones en la rodilla podrían tener riesgos más altos. Evitar el trauma o lesiones de las articulaciones puede ayudar a prevenir la enfermedad [17].

Las articulaciones que se utilizan repetidas veces en ciertas labores podrían desarrollar osteoartritis. Las labores que requieren doblar las rodillas múltiples veces parecen incrementar el riesgo de contraer dicha enfermedad.

La osteoartritis desde el punto de vista clínico se caracteriza por los síntomas siguientes:

- Dolor de características mecánicas, en relación con el uso de la articulación. Con la evolución de la enfermedad el dolor puede aparecer durante el reposo y también dolor nocturno.
- Rigidez: después de un período de inactividad. Es característica la rigidez matutina menor de 30 minutos.
- Limitación de la función articular e inestabilidad.
- Deformidad articular y aumento del tamaño articular.
- Grados variables de inflamación local.
- Incapacidad funcional, que ocasiona problemas de dificultad para la deambulaci3n o realizaci3n de tareas de la vida diaria, generando trastornos ansiosos y depresivos entre los afectados.

Cualquier articulaci3n del cuerpo puede verse afectada por OA, sin embargo, la enfermedad se localiza m3s frecuente en:

- Manos: interfal3ngicas d3stales, interfal3ngicas proximales, OA de la articulaci3n trapeciometacarpiana.
- Rodillas.
- Caderas.
- Columna cervical y lumbar.

- Pies: metatarsfalángica del primer dedo.

### **2.2.1 Clasificación de la Osteoartritis.**

La osteoartritis, como manifestación final de diversas enfermedades, ha dado lugar a diversos intentos de clasificación. Una de las formas es la que divide la OA en dos grandes grupos en función de su etiología:

- Primaria o idiopática:
  - Localizada: manos, pies, rodilla, cadera, columna, otra articulación.
  - Generalizada: se afectan 3 o más articulaciones, entre las que se encuentran la OA de los dedos de las manos.
- Secundaria: presenta factores definidos que influyen en su etiología
  - Postraumática.
  - Trastornos del desarrollo o enfermedades congénitas: factores mecánicos y locales (obesidad, diferente tamaño de las piernas, varo o valgo exagerado, síndrome de hiper movilidad, escoliosis), displasias óseas.
  - Enfermedades metabólicas: hemocromatosis, ocronosis, enfermedad de Gaucher, hemoglobinopatía, Ehlers-Danlos.
  - Enfermedades endocrinas: diabetes mellitus, acromegalia, hipotiroidismo, hiperparatiroidismo.
  - Enfermedades por depósito de microcristales, enfermedades por depósito de calcio.
  - Otras enfermedades óseas y articulares: necrosis avascular artritis reumatoide, artritis gotosa, artritis séptica, enfermedad de Paget, osteoporosis, osteocondritis.

### **2.2.2 Etapas de la osteoartritis.**

El desgaste del cartílago en la osteoartritis sobreviene en varias etapas:

1. La estructura del cartílago empieza a cambiar con el paso de los años. Cuando esto sucede, el cartílago pierde su elasticidad y es más propenso a sufrir daños debido a lesiones o uso excesivo. El momento en que ocurren estos cambios, así como el alcance de éstos, depende de factores como la herencia, los traumas que sufra la articulación y otros [27].
2. Con el tiempo, el sinovio (el revestimiento de las articulaciones) se inflama como resultado del desgaste del cartílago. La inflamación produce citosina (proteínas inflamatorias) y enzimas que podrían provocar mayores daños en el cartílago.



3. A medida que se desgasta el cartílago, se expone el hueso subyacente y la articulación puede perder su forma natural. Los extremos de los huesos se vuelven más densos, formando brotes óseos, o espuelas.

4. Quistes llenos de líquido pueden formarse en el hueso junto a la articulación. Es posible que fragmentos de hueso o cartílago floten sueltos en el espacio de la articulación, provocando una mayor inflamación del sinovio.

Además del desgaste del cartílago, el líquido que se encuentra en la articulación podría desempeñar un papel en el proceso de la enfermedad. El líquido sinovial lubrica la articulación y es necesario para que ésta funcione correctamente. El líquido de las articulaciones se compone principalmente de una sustancia llamada *sustituto de ácido hialurónico*. En la osteoartritis, puede haber más sustituto de ácido hialurónico de lo normal, pero podría estar diluido. También es posible que exista un cambio en la calidad del sustituto de ácido hialurónico que se encuentra en el líquido de las articulaciones, el cual podría disminuir su función protectora [19].

### **2.2.3 Diagnóstico de la Osteoartritis.**

El diagnóstico de la OA es clínico y radiológico. Sin olvidar que la radiografía por si misma no es diagnóstica, así mientras el 60-70% de las personas mayores de 60 años presentarán alteraciones radiográficas, sólo el 20% tendrán sintomatología de enfermedad. En extremidades, es aconsejable realizar radiografía de la articulación contralateral, ya que, habitualmente las lesiones son bilaterales y asimétricas.

La artroscopia es un procedimiento que permite la visualización e instrumentación en patología articular sin necesidad de apertura quirúrgica. Su principal finalidad es terapéutica, permite realizar lavados articulares para la extracción de cuerpos libres y reparar lesiones que se pueden asociar a la OA como meniscopatía degenerativa [26].

## **2.3 Principales tratamientos de la Osteoartritis.**

Existen diferentes tipos de tratamientos tanto farmacológicos como no farmacológicos que incluye la combinación de ambos.

### **2.3.1 Tratamientos no farmacológicos.**

Las terapias no farmacológicas constituyen un pilar fundamental en el tratamiento de la osteoartritis, entre ellas se encuentran:

- a). La educación del enfermo y de sus familiares.
- b). Servicios sociales.
- c). Terapia ocupacional: enseñando al paciente diversas técnicas de protección articular y métodos para ahorrar energía.
- d). Pérdida de peso.
- e). Terapias físicas: TENS (transcutaneous electrical nerve stimulation), Ultrasonidos, Crioterapia, termoterapia, masaje.
- f). Ejercicio físico. Hay suficiente evidencia científica sobre la eficacia del ejercicio en el alivio del dolor, mejoría subjetiva global del paciente y mejoría de parámetros funcionales en los pacientes con OA. La práctica del ejercicio debería ser constante o, al menos, 3 días por semana, durante no menos de 20 ó 30 minutos en cada sesión. Se debe evitar la sobrecarga articular, eliminando fuertes y repetidos impactos sobre las articulaciones dañadas, a fin de preservarlas de un posible desgaste adicional por sobreuso.

El tratamiento no farmacológico se considera la piedra angular en el tratamiento de la OA y debería mantenerse siempre para el control de la enfermedad. Las medidas farmacológicas son más efectivas cuando se combinan con medidas no farmacológicas [3].

### **2.3.2 Tratamientos farmacológicos.**

El tratamiento farmacológico utilizado en la osteoartritis ha sido clasificado en dos grupos:

- Fármacos que modifican la sintomatología: SMOADS (symptom modifying osteoarthritis drug):
  - Fármacos de acción rápida
    - Analgésicos.
    - Antiinflamatorios no esteroideos (AINE).
    - Glucocorticoides intraarticulares.
  - Fármacos de acción lenta
    - Symptomatic Slow Action Drugs Osteoarthritis (SYSADOA)
- Fármacos modificadores de la enfermedad artrósica: DMOADS (disease modifying osteoarthritis drugs).

## 2.4 Opciones de tratamientos.

En las etapas tempranas, la artritis de rodilla se trata con medidas conservadoras, no quirúrgicas.

- Las modificaciones del estilo de vida pueden incluir la pérdida del peso, cambiando desde ejercicios de correr o saltar a nadar o ciclismo, y minimizando las actividades que agravan la condición, tales como la de subir escaleras.
- Los ejercicios pueden ayudara aumentar el arco de movimiento y flexibilidad así como también ayudan fortalecer los músculos en la pierna.
- Usar utensilios sustentadores tales como un bastón, llevando inserciones amortiguadoras en los zapatos, o llevando una manga de rodilla o ortésis (dispositivo ortopédico) pueden ser útiles.
- Otras medidas pueden incluir aplicaciones de calor o hielo, ejercicios en el agua, linimentos o vendajes elásticos.

Varios tipos de drogas pueden usarse para tratarla artritis de la rodilla. Porque cada paciente es diferente, y porque no toda la gente responde de la misma manera a medicaciones, su cirujano ortopédico desarrollará un programa específico para su condición.

- Las medicaciones antiinflamatorias pueden incluir aspirina, acetaminofén o ibuprofen para ayudara reducirla hinchazón en la articulación.
- Glucosamina y condroitin sulfato son los suplementos orales que pueden aliviar el dolor de osteoartritis.
- Corticoesteroides son poderosos agentes antiinflamatorios que pueden ser inyectados en la articulación.
- Terapia de hialuronato consiste en una serie de inyecciones destinadas para cambiar el carácter del fluido de la articulación.
- Tratamientos médicos especiales que incluyen inyecciones de sal de oro y otras drogas que modifican la enfermedad.

Si la artritis no responde a estos tratamientos no quirúrgicos, se pasa entonces a tratamientos con cirugía.

- Cirugía artroscópica utiliza tecnología de fibra óptica para permitir que el cirujano pueda ver adentro de la articulación y limpiarla de partículas o reparar cartílago desgarrado.
- Una osteotomía corta la espinilla (tibia) o el fémur para mejorar la alineación de la articulación de la rodilla.
- Una artroplastia total o parcial de la rodilla reemplaza el cartílago severamente dañado de la articulación con metal y plástico.
- Injertar el cartílago es posible para algunas rodillas con limitada o contenida pérdida de cartílago debida a trauma o artritis.

## **2.5 Injertos de condrocito.**

Un injerto es parte de un tejido que se separa de su zona dadora o donante, privándola completamente de su aporte sanguíneo antes de transferirlo al lecho receptor del que se deberá nutrir.

Los condrocitos son células de origen mesenquimal representan solo el 2 % del volumen total del cartílago articular normal y son sus únicas células. Su metabolismo se afecta por factores mecánicos y químicos como son: mediadores solubles (factor de crecimiento e interleukinas), composición de la matriz, cargas mecánicas, presiones hidrostáticas y campos eléctricos. Por la baja concentración de oxígeno en la que existen los condrocitos, su metabolismo es fundamentalmente anaerobio. Los condrocitos sintetizan todas las macromoléculas (fibras colágenas, proteínas no colágenas y proteoglicanos) y además las enzimas degradativas en el cartílago articular normal, esta es la razón por la que tienen un importante papel en la remodelación y regeneración del cartílago articular [34].

### **2.5.1 Composición ultraestructural de los condrocitos.**

Los condrocitos ultraestructuralmente están compuestos por los siguientes orgánulos:

Ribosomas: Son pequeños cuerpos electrodensos constituidos por nucleoproteínas en los cuales los aminoácidos se unen para la síntesis proteica. Los ribosomas se producen en el nucleolo y están constituidos por ácido ribonucleico ribosomal (ARN). Pueden disponerse aisladamente en el citoplasma celular o bien formando parte del retículo endoplasmático rugoso, donde se lleva a cabo la mayor parte de la síntesis proteica.

Nucleolo: Generalmente están unidos en cada célula, no tienen membrana periférica y son difíciles de identificar en aquellas células metabólicamente inactivas. Producen la mayor parte de ARN y subunidades ribosomales que forman los ribosomas.

Matriz cartilaginosa: Es la responsable del mantenimiento de la homeostasis de los condrocitos y es el principal componente que determina las propiedades biomecánicas del cartílago. Contiene una gran proporción de agua, un entramado de fibras de colágeno y una sustancia amorfa compuesta fundamentalmente por carbohidratos y proteínas no colágenas. Una pequeña cantidad de líquidos y componentes inorgánicos también está presente.

### **2.5.2 Fases para el injerto de condrocitos.**

#### *Primera fase (Toma de células)*

El primer procedimiento suele ser una artroscopia (cirugía con incisiones mínimas) para obtener cartílago, el cual es enviado al laboratorio para preparar las células cartilaginosas (condrocitos). Habitualmente, a usted se le extrae sangre, y se separa el suero de dicha sangre. Este suero contiene factores de crecimiento y nutricionales, que pueden ayudar a la multiplicación celular. Cuando el laboratorio recibe la biopsia de cartílago, se pesa, se trocea, y se digiere mediante enzimas. Cuando los condrocitos se han separado de la matriz cartilaginosa, se lavan y se colocan en frascos que contienen medios de cultivo especiales y suero. Estos frascos se incuban a temperatura corporal. En el frasco, una parte de las células se adherirá al fondo y comenzarán a multiplicarse. Al cabo de dos o tres semanas, cuando hay bastantes células, se sacan del frasco mediante un proceso llamado tripsinización. Las células se lavan de nuevo y se preparan, listas para la reimplantación en el paciente [35].

#### *Segunda fase (Implantación de las células)*

Esta fase implica un procedimiento quirúrgico de mayor envergadura. La rodilla se aborda a través de una incisión en su cara anterior. Se desbrida (se limpia) la lesión cartilaginosa, y se extraen todos los trocitos sueltos de tejido. Habitualmente se extrae un parche de periostio a través de otra incisión cutánea en la parte superior de la espinilla. El periostio es la cubierta externa del hueso, y se usa como parche para tapar el defecto cartilaginoso. Para fijar el periostio a la lesión, se utilizan puntos de sutura muy finos, y se puede añadir un “pegamento biológico” de tal manera que el parche sea estanco. Entonces se inyectan las células debajo del parche.

#### *Tercera fase (Rehabilitación)*

La rehabilitación postoperatoria es casi tan importante como la cirugía en sí. La movilidad de la rodilla se inicia precozmente utilizando Movilidad Pasiva Continua (CPM). Ésta es una máquina especial que mueve suavemente su rodilla en los primeros días después del implante celular. Se sabe que el movimiento articular favorece la reparación cartilaginosa. Se utilizan muletas durante aproximadamente 8 semanas postoperatorias para prevenir los impactos articulares excesivos que pueden dañar el injerto durante su crecimiento.

Con frecuencia el periodo inicial de rehabilitación es duro. Pueden transcurrir un par de meses antes de que el dolor de la lesión del cartílago empiece a mejorar.



*Figura 2.11 Aspecto macroscópico de los injertos osteocondrales después de su implantación.*

El implante de células cartilaginosas es por el momento la opción más efectiva de los métodos de regeneración del tejido en la reparación del cartílago articular, dado que no implica el problema de orientación de las fibras de la zona donante a la receptora. En este sentido, también "se utilizan herramientas que conducen o encarrilan la implantación, incluso por vía artroscópica". La reparación del cartílago articular exige investigar en métodos diagnósticos que nos proporcionen información sobre el tipo de daño". Sin embargo, es en el método de cultivo donde se debe afinar la técnica para el implante de condrocitos: "Cada tejido dañado tiene su célula correspondiente para la implantación.

## **2.6 Técnicas utilizadas en la actualidad para el tratamiento de osteoartritis de rodilla.**

**El desbridamiento de la articulación dañada:** elimina fragmentos de cartílago y meniscos, mejorando la función articular, pero sólo por un tiempo limitado pese a añadir un fuerte lavado artroscópico. Los resultados de lavado han arrojado muy poca diferencia. Solo proporciona mejorías en pacientes jóvenes sin inestabilidad, sin angulaciones y sin graves lesiones

**Las perforaciones del hueso subcondral:** es una técnica que no se realiza con frecuencia en el mundo. El agujero practicado se rellenará de tejido fibroso o fibrocartílago, pero nunca de

cartílago hialino. Se hablan de buenos resultados, de menos dolor, pero todo subjetivo, ya que con el tiempo la imagen del cóndilo se deteriora.

**La abrasión del extremo óseo:** Se perfora de 1-3 mm de profundidad lo cual destruye vasos y cortical, llegando a hueso subcondral. Los resultados de esta técnica varían mucho, así se habla de una mejoría del 60% al 75%, pero con tanta disparidad puede que se deba todo a la selección del paciente, edad, extensión, debería ser muy diferente. Los resultados obtenidos no han sido los mejores.

**La osteotomía:** Es una técnica que se realiza mucho y en casos no avanzados de artrosis proporciona buenos resultados. El candidato ideal para una osteotomía de cierre lateral es el paciente joven, activo, con un rango de movimiento aceptable, un ligamento colateral medial competente y con osteoartritis unicompartimental de causa mecánica.

**El injerto de pericondrio:** Su realización se ha hecho generalmente de forma experimental ya que tiene algunas limitaciones importantes como la duración del injerto, el riesgo de calcificación, etc.

## **2.7 Técnica de mosaicoplastia con injerto osteocondral autólogo**

El tratamiento de los defectos cartilaginosos en las áreas de carga de peso es un problema muy frecuente en la práctica ortopédica. Estos defectos condrales u osteocondrales causan dolor, inflamación, bloqueo articular e inestabilidad, y conducen a cambios degenerativos precoces de la articulación. Existe una gran variedad de tratamientos disponibles para estos defectos, pero sus resultados clínicos son controversiales [29].

Los estudios experimentales y clínicos acerca del injerto osteocondral autólogo han mostrado un alto rango de supervivencia, además de buenos resultados. A pesar de esta observación, se afrontan dos grandes problemas con este proceder: el primero es que el lugar de extracción del cartílago donante debe ser de superficies articulares que no soportan apoyo, por lo que resulta muy limitado y el segundo, que el uso de grandes injertos causa incongruencia articular y altera la biomecánica de la articulación. Está demostrado que el uso de múltiples pequeñas piezas permite una mayor cantidad de tejido a transplantar, mientras que se preserve la integridad del sitio donante. Además su colocación en forma de mosaico permite dar contorno a la superficie articular.

En nuestro país la osteoartritis de rodilla es una de las enfermedades más comunes, en estudios realizados se ha comprobado que puede ser asintomática entre los 20 y 30 años de edad y está presente en casi todas las personas hacia los 70 años. Los síntomas aparecen en personas de mediana edad, y antes de los 55 años ocurre por igual en ambos sexos. Sin embargo, después de los 55 años la incidencia es mayor en las mujeres. Aproximadamente 4 de cada 100 personas se ven afectadas por esta enfermedad.

Aunque una gran cantidad de pacientes con osteoartritis de rodilla responden favorablemente a tratamientos conservadores, en otros no se obtiene un resultado similar, si no que produce un alivio temporal de los síntomas de forma general, no detiene la enfermedad y en ocasiones no brinda beneficios en sus estadios más avanzados. Según los resultados obtenidos en la provincia de Villa Clara, en pacientes con osteoartritis en edades entre 51 y 76 años no respondieron al tratamiento conservador, el lavado articular y debridamiento presentó los siguientes resultados: 52 %, beneficiosos; 39 % que no encontraron beneficio alguno y 9 % que experimentó alivio temporal, por lo que es necesario aplicar el tratamiento quirúrgico a estos enfermos [29].

Con la utilización del dispositivo diseñado se logra realizar el injerto osteocondral autólogo reportando beneficios científico-técnicos como económicos y sociales de gran repercusión; cumple con los siguientes requisitos:

- Fácil aplicación y manipulación.
- Garantiza mayor calidad y precisión.
- Acorta el costo de material y el tiempo quirúrgico por paciente.
- Restablecimiento del paciente.



## **2.8 Conclusiones Parciales.**

1. La rodilla es la articulación más grande del cuerpo humano, junto con otros elementos óseos, sirve de soporte estructural al cuerpo, por lo que si se crea una alteración funcional importante, puede acarrear graves consecuencias para la vida del enfermo.
2. La Osteoartritis es la enfermedad articular más frecuente y es la causa más importante de discapacidad entre los ancianos en nuestro País que afectan la calidad de vida.
3. Los principales factores que aumentan el riesgo de desarrollar la osteoartritis son: la herencia, la obesidad, lesiones de las articulaciones, uso excesivo repetido de ciertas articulaciones, debilidad muscular y lesiones de los nervios.
4. Si el desgaste del cartílago articular aumenta hasta tal grado que las terminaciones óseas comienzan a rozar unas con otras, es posible que se desarrollen espolones óseos alrededor de la articulación, los cuales causan dolor e inflamación a la persona.
5. La eficacia de un implante de condrocitos depende de algunas variables relacionadas entre sí, entre ellas: la calidad ósea, la geometría de los fragmentos, el implante como tal y su localización.
6. Queda demostrado la necesidad de mejorar la técnica artroscópica utilizada tradicionalmente en los Hospitales de Villa Clara para la patología de osteoartritis de rodilla. La posible solución pudiera estar en el diseño de un instrumental para el injerto osteocondral autólogo como una nueva vía de enfrentar a los pacientes con osteoartritis avanzada que no respondan satisfactoriamente a los tratamientos tradicionalmente utilizados.

### ***Capítulo III Diseño instrumental para autoinjertos de condrocitos en el cartílago articular de la rodilla.***

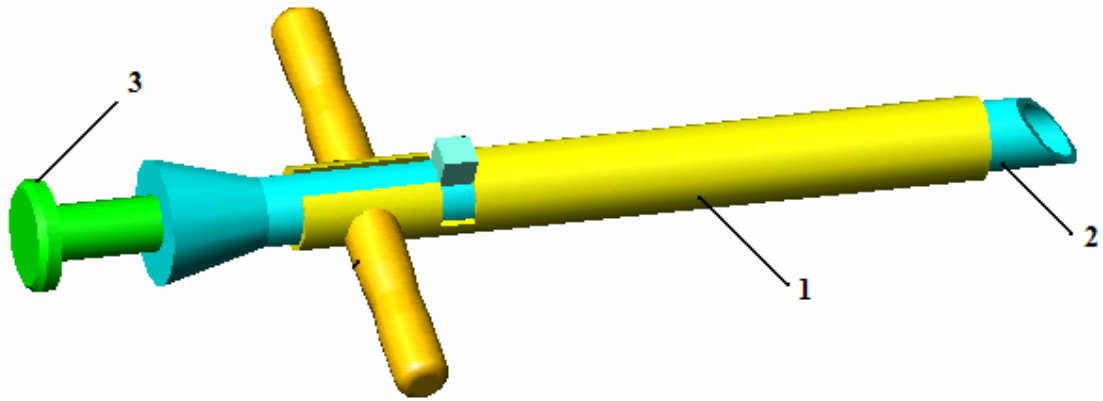
El desarrollo de un nuevo instrumental para aplicar la técnica de cirugía artroscopía en pacientes que padecen de osteoartritis de rodilla, persiguió facilitar el tratamiento para la rehabilitación de las personas con este padecimiento y así contribuir a mejorar el instrumental quirúrgico.

El desarrollo del instrumental para la cirugía de osteoartritis de rodilla se concibió con la aplicación del diseño automatizado a través de sistemas CAD de modelado geométrico denominado MECHANICAL DESKTOP 6 de amplio uso en el mundo [4,5].

#### **3.1 Descripción general del Instrumental desarrollado.**

El Instrumental consta de un módulo de 3 piezas de acero inoxidable para instrumentos médicos que al ensamblarse no exceden la altura de 18 mm, un ancho de 70 mm, una longitud de 154 mm y una masa de 0.47 kg aproximadamente, como puede apreciarse en los planos de los anexos.

El diseño del instrumental desarrollado en el trabajo se concibió para la extracción de tejidos de cartílago articular sano de la misma persona (autólogo) para posteriormente ser injertados en la rodilla que presenta la osteoartritis. Para el proyecto de su diseño de forma automatizada fue empleada una de las herramientas CAD existentes en el mundo, específicamente el MECHANICAL DESKTOP 6 [6, 12, 33]. Lo cual garantizó la precisión y eficiencia en el resultado obtenido. El modelo tridimensional desarrollado (3D) se muestra en la figura 3.1 y el plano de ensamble en el Anexo 1.



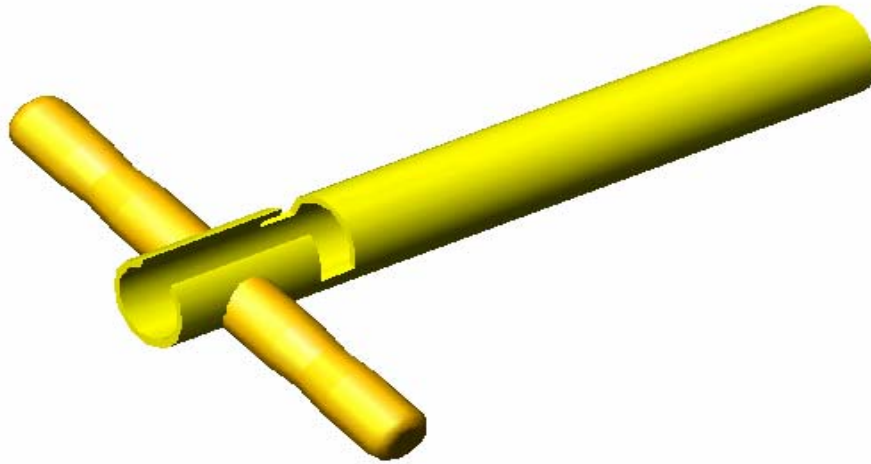
*Figura 3.1 Modelo en 3D del Instrumental para autoinjerto osteocondral en la rodilla.*

El Instrumental desarrollado consta de 3 piezas de acero inoxidable dispuestas de manera que el ensamble interacción entre ellas conforman el dispositivo. El cual facilita el injerto de condrocitos en la rodilla.

Como se puede apreciar en la figura 3.1, todos los componentes del instrumental se encuentran sujetos con la **guía de extracción** (pieza 1), es el elemento que sirve de soporte al resto de las piezas. La misma tiene una forma alargada y tubular. Los demás elementos se ubican dentro de dicha guía. **El émbolo extractor** (pieza 2), se coloca por la parte interior de la pieza 1 en el sentido de las ranuras que esta presenta, para que pueda deslizarse por su interior [7]. **El émbolo para injerto** (pieza 3), se desliza por dentro de la pieza 2 con el objetivo de introducir el injerto en el canal de implante.

### **3.2 Caracterización de los elementos del instrumental para injerto de condrocitos en la rodilla.**

1. **Guía de extracción:** Esta pieza será la base del instrumental y es la que sostiene al resto de las demás piezas que conforman el dispositivo. La forma geométrica de la misma es mostrada en la figura 3.2. Su diseño permite que a través de su interacción con las otras piezas cumpla las funciones que contribuyan al éxito del injerto osteocondral autólogo. Ver figura 3.2 y Anexo 4



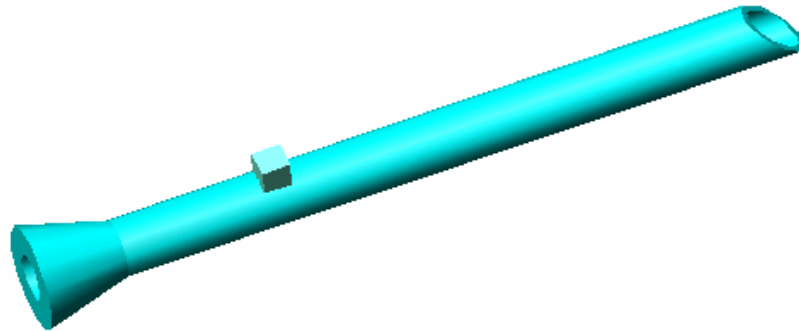
*Figura 3.2 Guía de extracción del Instrumental desarrollado.*

La superficie exterior de la pieza tiene un acabado superficial  $0.4\mu m$  ya que esta también se introduce en la rodilla del paciente. Esta superficie es cilíndrica, con un diámetro exterior de 12 mm e interior de 10 mm a todo lo largo de la pieza, con el fin de que la misma pueda acomodarse a la superficie del hueso.

Presenta por la parte superior, dos ranuras una primera de 5 mm de largo y 12 mm de ancho y con una profundidad de 4 mm, una segunda ranura de 5 mm de ancho y 20 mm de largo y con 4 mm de profundidad desde la superficie inferior permitiendo que el émbolo de extracción se desplace por el interior de esta. A la Guía de extracción se le adicionaron dos manguitos laterales que tienen como función la adecuada manipulación de esta por el cirujano.

2. **Embolo extractor de condrocitos:** Está pieza es la más compleja de todas, con diámetro exterior de 10 mm e interior de 8 mm a todo lo largo de la pieza, con una superficie con un acabado superficial de  $0.4\mu m$  que se desliza por el interior de la Guía de extracción, tiene una forma cónica ascendente en su parte posterior para facilitar los pequeños golpes para desprender el tejido óseo. Técnicamente este elemento está proyectado para que se desplace longitudinalmente sobre la Guía de extracción, de manera que pueda ser posicionada correctamente, según el tamaño del hueso y la posición de perforación. Esta consta de una pieza tope que permite movimientos rotacionales que restringe el área de trabajo sobre la articulación de la rodilla y la longitud del injerto obtenido no sea mayor de 15 mm.

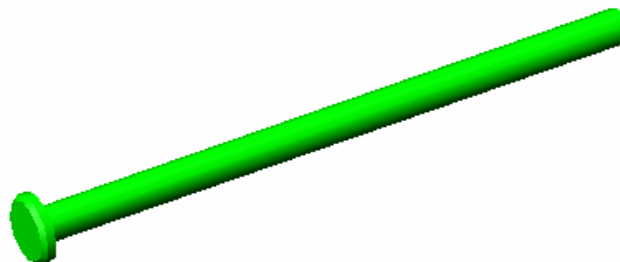
En la parte delantera del émbolo extracto de injerto existe un corte de la sección, esta sección está dispuesta de manera que el plano superior de la misma se encuentre ubicado en un ángulo de  $45^\circ$  con respecto al plano horizontal, el cual facilita la penetración de este en la articulación de la rodilla. La cavidad interior de esta parte está concebida en correspondencia con las dimensiones del instrumental que se utiliza en la ejecución de este tipo de intervención quirúrgica. Ver figura 3.3 y Anexo 2



*Figura 3.3 Embolo extractor de condrocitos.*

3. **Embolo para injerto osteocondral:** Esta pieza es la encargada de introducir el injerto en la rodilla del paciente por lo que debe garantizar un desplazamiento muy suave, esto se logra por lo ya que posee un acabado superficial de  $0.4\mu m$  en toda su longitud tiene una longitud de 150 mm, un diámetro de 8 mm.

En uno de sus extremos presenta una superficie de mayor diámetro (20 mm) la cual facilita su manipulación durante la introducción del injerto de cartílago. Ver figura 3.4 y Anexo 4



*Figura 3.4 Embolo para injerto osteocondral.*

### **3.3 Criterios de selección del material empleado.**

La elección del material es un momento de responsabilidad durante el proceso de diseño de una pieza cualquiera. Esta selección debe efectuarse con conocimiento completo de las propiedades de los distintos materiales y las exigencias de ingeniería que estos deben reunir para las condiciones de trabajo y de fabricación a que será sometida la pieza. En la rama mecánica, la selección de los materiales depende de varios criterios que abarcan entre otros: aspectos de diseño, tecnología de fabricación, condiciones de trabajo, solicitaciones, funcionamiento, etc. [10, 11].

Teniendo en cuenta que a través de la historia aparecen numerosos ejemplos que muestran las diversas recomendaciones sobre la aplicación de determinadas marcas de materiales, para unas u otras piezas llevando un *carácter temporal* [39, 41]. Tales consejos se deben revisar sistemáticamente, considerando a los nuevos materiales y los nuevos datos sobre las propiedades de los materiales antes usados.

En los últimos 20 a 30 años en el desarrollo de la construcción de maquinarias es difícil hallar un ejemplo de progreso mas rápido que en el terreno del empleo de materiales.

Al elegir el material se tuvo en cuenta ciertas premisas en correspondencia con la pieza a diseñar, ellas son las siguientes [30]:

- De explotación, en la que el material debe satisfacer las condiciones de funcionamiento.
- De tecnología, en la que debe reunir las condiciones que permitan ahorrar material con un gasto mínimo de acuerdo a las operaciones necesarias para fabricar la pieza.
- De economía en la cual debe tenerse en cuenta las ventajas desde el punto de vista del precio, total de la pieza, incluyendo el costo del material y los gastos de producción.

Para el caso específico del diseño del instrumental desarrollado en el trabajo, los criterios para la selección del material están basados sobre las características geométricas y de explotación que definen su forma fundamental, de acuerdo a las superficies tecnológicas que van a influir en la técnica operatoria y al medio donde se va a usar. Referente a las solicitaciones y las características de resistencia, las mismas son secundarias, debido a que el instrumental, no será sometido a elevadas solicitaciones [7, 37].

Por tanto, como el instrumental va a ser empleado en la rama médica, en intervenciones quirúrgicas, y específicamente en la operaciones de osteoartritis de rodilla. Donde estará en contacto directo con tejidos del paciente y evitar complicaciones del tipo infeccioso, el material tiene que ser un Acero inoxidable [31, 32].

En este caso el acero inoxidable garantiza los requerimientos bajo cualquier circunstancia. El material seleccionado es el **acero inoxidable 4X13** (Según la Norma GOST) ó **420HC** (Según AISI). Para ello se tuvo en cuenta que las aleaciones con más del 12-14% de Cromo se comportan como metales nobles al poseer un potencial positivo, no se aherrumbran, ni se oxidan en el aire, en el agua y en una serie de ácidos, sales y alcalos. Este acero es de base martensítica, por lo que después del temple desde altas temperaturas (900 – 1100 °C), mantiene su estructura martensítica [14].

Este ha sido seleccionado debido a que entre los tipos de acero inoxidable este es uno de los más baratos, a un costo aproximado en el mercado internacional de 4500 USD por toneladas y que más se emplea, pues tiene múltiples usos, ya que se comporta como un acero plástico, puede estamparse, presenta gran dureza y elevada resistencia a la rotura, al desgaste y a la corrosión. En la tabla 3.1 aparecen los valores de las propiedades físicas, mecánicas, eléctricas y térmicas del material seleccionado [24].

*Tabla 3.1 Propiedades del material 4X13 (Norma GOST), 420HC (AISI).*

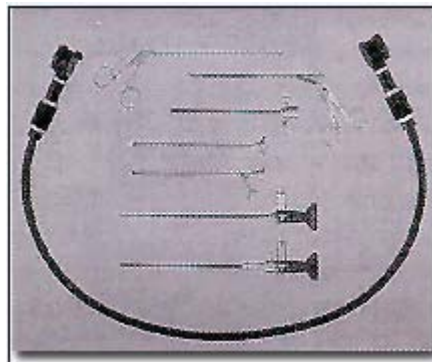
<b>Propiedades Físicas</b>	
Densidad	7.73 g/cc
<b>Propiedades Mecánicas</b>	
Dureza, Rockwell B	88
Dureza, Rockwell C	56 – 59
Tensión última	600 Mpa
Tensión de fluencia	310 Mpa
Elongación de Rotura	28 %
Módulo de Elasticidad	200 GPa
<b>Propiedades Eléctricas</b>	
Resistividad Eléctrica	5.6e-005 ohm-cm

<b>Propiedades Térmicas</b>	
Coef. de Dilatación lineal 250°C (Rango 20° - 200°C)	11.2 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$
Coef. de Dilatación lineal 500°C (Rango 20° - 600°C)	12.5 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$
Conductividad Térmica (Hasta 100°C )	14 W/m-K
Punto de fusión	1454 - 1510 °C

### **3.4 Descripción del instrumental utilizado en la cirugía artroscópica para injerto de condrocitos en la rodilla:**

El instrumental tradicionalmente empleado en la cirugía artroscópica, consta de 3 elementos, como se muestra en la figura 3.8 y figura 3.9, a lo cual se le adiciona un cuarto elemento que es el desarrollado en el presente trabajo para el injerto osteocondral autólogo (figura 3.1).

1. Artroscopio con espesor de 1,7 a 4,5 mm.
2. Equipo de televisión, cámara y video.
3. Pinzas.
4. Dispositivo para injerto osteocondral autólogo en la rodilla



*Figura 3.5 Ópticas e instrumental utilizado en artroscopia de rodilla.*





*Figura 3.6 Equipo de televisión, cámara y vídeo.*

### **3.5 Procedimiento para la técnica operatoria utilizando el Instrumental diseñado para el injerto de condrocitos en la rodilla.**

La técnica quirúrgica al utilizar el dispositivo consiste en la extracción de pequeñas piezas cilíndricas de condrocitos con diámetros de 8 mm de las zonas de apoyo mínimo y la periferia de los cóndilos femorales a nivel de la articulación patelofemoral, y transplantarlos a las zonas de carga de peso. La combinación de diferentes tamaños permite llenar el defecto en el 90 - 100 %. Este tipo de técnica puede ser realizada por artroscopia a cielo abierto en dependencia de la magnitud del proceder y la habilidad del cirujano. La artroscopia debe realizarse en un lugar que reúna buenas condiciones de antisepsia y permita aplicar diferentes métodos anestésicos, por lo que el lugar ideal es un salón de operaciones.

El procedimiento utilizado en la técnica operatoria propuesta con el dispositivo diseñado se elaboró teniendo en cuenta los parámetros técnicos y geométricos del mismo. Este procedimiento consta de los siguientes pasos:

1. Primeramente se toman todas las medidas de asepsia y antisepsia se coloca torniquete en la rodilla afectada y con selección previa de la anestesia (local, espinal o general), se inician los pasos encaminados a introducir el artroscopia. Lo primero es la distensión de la rodilla con solución salina fisiológica; para esto se flexiona la rodilla del paciente 40° aproximadamente, este se posiciona un centímetro por encima del platillo tibial lateral e inmediatamente por fuera del tendón rotuliano (incisión inferoexterna) Ver figura 3.7.



*Figura 3.7 Incisión inferoexterna.*

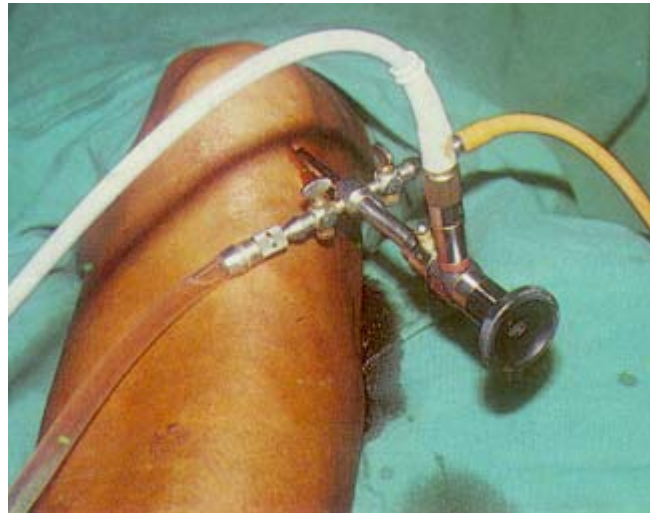
En esta incisión se inserta una aguja que se dirige hacia la escotadura intercondílea, en un ángulo de 45° en relación con el plano de la mesa (Ver figura 3.8). En tanto la rodilla es gradualmente extendida, la aguja se desliza a través de la cápsula fibrosa, la almohadilla adiposa y la sinovial, y pasa por debajo de la rótula para descansar sobre la tróclea femoral. Es entonces que se distiende la articulación con solución salina estéril normal, hasta que la bolsa del cuádriceps esté firmemente distendida; la cantidad de solución necesaria está entre 60 y 100 ml. Cuando la bolsa está llena se retira la aguja.



*Figura 3.8 Introducción de un trocar para la distensión articular.*

Después de colocada la aguja de drenaje y establecido un buen flujo, se coloca el artroscopio y se acopla el tubo empleado para recibir la solución salina normal que irá a la articulación a través de la vaina (Ver figura 3.9). Los frascos de solución salina usualmente son elevados a

90 cm por encima de la rodilla, con el objetivo de alcanzar suficiente presión hidrostática que permita un flujo adecuado a toda la articulación. Posteriormente se conecta el cable de fibra óptica al artroscopio y a la fuente de luz, lo que completa la integración del sistema. De esta forma se visualiza el defecto cartilaginoso en las áreas de carga de peso de la rodilla, que es donde se realizará el injerto osteocondral.



*Figura 3.9 Colocación del artroscopio durante la intervención quirúrgica.*

2. Después de localizada la zona dañada, se efectúa una segunda incisión (inferointerna), la cual es mostrada en la figura 3.10. A través de dicha incisión se labra el canal del implante por donde se va a introducir el injerto osteocondral autólogo, utilizando la guía de extracción (figura 3.2) y el émbolo extractor (figura 3.4).



*Figura 3.10 Incisiones realizadas para el abordaje inferointerno y suprapatelar externa para elaborar el canal de implante y obtener los condorcitos para el injerto osteocondral autólogo.*

3. A través de una tercera incisión se realiza el abordaje suprapatelar externo, donde se visualiza la zona en la cual se hará la extracción de los condorcitos para efectuar el injerto osteocondral autólogo dentro del canal de implante realizado anteriormente en el cartílago dañado. Ver figura 3.10.
  - La vía de abordaje es un centímetro por encima del polo superior de la rótula y se puede realizar tanto medial como lateral.
  - El injerto se obtiene de un área de la superficie del condilo en la región infrapatelar que no soporta carga ni es una zona de apoyo utilizando la guía de extracción (Ver figura 3.2) y el émbolo extractor (Ver figura 3.4). Una vez obtenido el injerto, se procede a colocarlo por la segunda incisión inferointerna y se deja dentro del canal labrado previamente utilizando el émbolo para injerto (Ver figura 3.6).
4. Finalmente se procede al tratamiento rehabilitador con movilidad precoz la cual favorece la reparación cartilaginosa. Se le recomienda al paciente estar en cama los primeros tres días, excepto para ir al baño, y posteriormente incrementar su actividad hasta la primera visita, que será a la semana, en la cual se retirara la sutura. Se utilizan muletas aproximadamente 8 semanas post-operatorias para prevenir los impactos articulares que pueden dañar el injerto.

El examen de rodilla se realiza sobre una mesa plana y de forma rutinaria a través de la puerta lateral infrapatelar. Debe ser practicado de una manera metódica, siguiendo siempre los mismos pasos.

### **3.6 Ventajas de la técnica operatoria para injerto osteocondreal autólogo de osteoartritis de rodilla utilizando el instrumental desarrollado.**

Con este dispositivo se pretende que un solo cirujano pueda efectuar la operación de osteoartritis de rodilla. Puesto que este es un dispositivo compacto en el cual todas sus piezas están unidas entre sí a una guía de extracción que se apoya a la rodilla. Esto trae como consecuencia que se disminuyan los errores por cambios de bases tecnológicas para cada paso del proceso quirúrgico, ya que todas las demás piezas se trasladan con respecto a la guía de

acuerdo a los cálculos realizados antes de proceder a realizar la incisión para elaborar el canal de implante para el injerto.

Las principales ventajas del dispositivo desarrollado como técnica operatoria están dadas por los siguientes aspectos:

- Mayor precisión en el procedimiento de la obtención del canal de implante debido a las restricciones de movimiento que se logra.
- El diseño del instrumental permite desarrollar la técnica de injerto autólogo de osteoartritis de rodilla que hasta el momento no se contaba con este tratamiento a cielo cerrado por artroscopia.
- No es necesario realizar un abordaje quirúrgico en la rodilla a cielo abierto.
- Se disminuye el tiempo quirúrgico, lo cual garantiza menor sangramiento del paciente, menor posibilidad de infección o contaminación, contribuyendo así a la más rápida recuperación del paciente y reducir el costo hospitalario.

### **3.7 Riesgos y limitaciones de la técnica utilizando el instrumental desarrollado.**

A pesar de la adecuada elección de la técnica y de su correcta realización, pueden presentarse efectos indeseables, tanto los comunes derivados de toda intervención y que pueden afectar a todos los órganos y sistemas, como los debidos a la situación vital del paciente (diabetes, cardiopatía, hipertensión, edad avanzada, anemia, obesidad), y los específicos del procedimiento. Entre ellas se tienen:

- Hematoma superficial o profundo con formación de seroma que, con frecuencia, drena por la herida quirúrgica.
- Dehiscencia o necrosis de los bordes de la herida.
- Pérdida de movilidad.
- Infección superficial o profunda.
- Trombosis venosa profunda o tromboembolismo y lesión de vasos o nervios adyacentes.
- Luxación de la rotula y lesiones del tendón rotuliano.

- Cambio en la longitud de la pierna intervenida.
- Dolor residual y cojera por insuficiencia muscular o por otras causas.

### **3.8 Conclusiones Parciales.**

1. El Instrumental creado consta de un módulo de 3 piezas de acero inoxidable para instrumentos médicos que al ensamblarse no exceden la altura de 20 mm, un ancho de 52 mm, una longitud de 154 mm y una masa de 0.47 Kg.
2. El desarrollo del diseño de un dispositivo para la cirugía de osteoartrosis de rodilla se concibió con la aplicación del diseño automatizado a través de sistemas CAD de modelado geométrico. A partir del nuevo diseño creado utilizando las facilidades del Mechanical Desktop.
3. El material seleccionado para la construcción del dispositivo es el acero inoxidable 4X13 según la Norma GOST y 420HC según la AISI, cumple con los requerimientos necesarios, de acuerdo a las condiciones de trabajo, donde estará en contacto directo con los tejidos del paciente y debe permitir su esterilización y no oxidarse en el aire, en el agua, y en una serie de ácidos, etc.
4. La aplicación de la técnica quirúrgica con el nuevo instrumental desarrollado constituye un aporte a la salud pública en Villa Clara, contribuyendo a mejorar la atención médica al paciente que padece osteoartritis de rodilla con la utilización del injerto osteocondral autólogo como una vía más de enfrentar dicha patología.

## **CONCLUSIONES**

Las Conclusiones resultantes de este trabajo de diploma son las siguientes:

1. La biomecánica es una ciencia vinculada muy estrechamente al hombre, que abarca conocimientos multidisciplinarios y que se agrupa, desde el punto de vista aplicativo, en la biomecánica Deportiva, la Ocupacional y la Médica. Referente a la biomecánica médica, se comprobó que el mayor avance se encuentra asociado con la Ortopedia, debido a la gran incidencia de los problemas asociados al sistema músculo esquelético que afectan directamente el aparato locomotor.
2. La osteoartritis constituye un serio problema por su frecuencia, complicaciones y repercusión socioeconómico. Dicha patología representa una alta incidencia y visitas a consultas a nuestros hospitales. En Cuba la osteoartritis de rodilla es una de las enfermedades más comunes ya que está presente en casi todas las personas mayores los 70 años y ocurre antes de los 55 años por igual en ambos sexos. Sin embargo, después de los 55 años la incidencia es mayor en las mujeres.
3. En el tratamiento de la osteoartritis de rodilla se emplean diferentes técnicas en el Mundo, dentro de ellas se encuentran el desbridamiento de la articulación dañada, las perforaciones del hueso subcondral, la osteotomía y la abrasión del extremo óseo. Pero las mismas no han reportado todos los beneficios esperados, por ello se hizo necesario profundizar para hallar una solución, la cual se concibió con el injerto osteocondral autólogo.
4. Los estudios experimentales y clínicos acerca del injerto osteocondral autólogo han mostrado buenos resultados, aunque se afrontan dos grandes limitantes: la primera dada por el lugar de extracción del cartílago donante, que debe ser de superficies articulares que no soporten apoyo, lo que limita su empleo; y el segundo, que el uso de grandes injertos causa incongruencia articular y altera la biomecánica de la articulación.
5. Para disminuir estas limitantes, en el trabajo se desarrolló un procedimiento quirúrgico con el empleo de un instrumental diseñado para el injerto osteocondral autólogo en la rodilla que supera algunas de las deficiencias actuales.

6. El diseño del instrumental para el tratamiento de Osteoartritis de rodilla se concibió con la aplicación del diseño automatizado y del modelado geométrico utilizando las facilidades del Mechanical Desktop. El mismo consta de un módulo de 3 piezas de acero inoxidable 4X13 ó 420HC, que al ensamblarse no exceden la altura de 18 mm, un ancho de 70 mm, una longitud de 154 mm y una masa de 0.47 Kg.
7. Las características del instrumental desarrollado, posibilitan su aplicación en los Hospitales de Villa Clara, con perspectivas de generalización a otros centros del país e incluso puede constituir un producto con posibilidades de comercialización, sobre todo, en el entorno geográfico cubano.



## **RECOMENDACIONES**

1. Introducir el resultado de este trabajo, promoviendo su aplicación en hospitales donde se realice la cirugía artroscópica en patologías de osteoartritis de rodilla.
2. Continuar profundizando en trabajos relacionados con la biomecánica y con el diseño de y el perfeccionamiento del instrumental ortopédico. Lo cual repercutirá en el mejoramiento de la rehabilitación quirúrgica a los pacientes y de la calidad de vida.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Anuriev. V. I. Manual del Constructor de Maquinaria. Moscú. Editorial Mashinoestroyemie, Año 1987.
2. [Asigat](http://poliz.usal.es/politecnica/asigat.htm). 9.2.3. Acotado de figuras planas. 9.2.4. Acotado de piezas poligonales. 9.3. Tema9. Cualidades constructivas y mecánicas. Formas comerciales normalizadas. [poliz.usal.es/politecnica/asigat.htm](http://poliz.usal.es/politecnica/asigat.htm) - 101k --[Consulta 10 Abril 2004].
3. Artroscopia de rodilla Protocolo e Indicaciones” <http://www.medicalastroscopia.com> [Consulta 21 febrero 2004].
4. [AutoCAD Mechanical 2002 Power Pack](http://www.autor.com.pl/cad_amdpp.shtml) <[www.autor.com.pl/cad\\_amdpp.shtml](http://www.autor.com.pl/cad_amdpp.shtml) > [Consulta 10 Marzo 2004].
5. [Autodesk - AutoCAD Mechanical](http://www.autodesk.co.jp/adsk/item) <[www.autodesk.co.jp/adsk/item](http://www.autodesk.co.jp/adsk/item) > [Consulta 17 Febrero 2004].
6. Autodesk Mechanical Desktop Power Pack < [www.ids-cad-software.co.uk](http://www.ids-cad-software.co.uk) > [Consultado 20 Abril 2004].
7. Baumeister, T. Standard Handbook for Mechanical Engineers. De. Mc Graw - Hill. New York, Año 1987.
8. Biomecánica de los ejercicios físicos” <http://www.gimnasiaalcorta.com>. [Consulta 5 Enero 2004].
9. Cegoñino, Banzo José. “Simulación del comportamiento del fémur distal y de la rodilla humana en estado sano y tras implantación protésica”. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. España. Año 2001.
10. Chernaski, S. A. Diseño de Máquinas, Moscú. Editora Mashinoestroyemie, Año 1984.
11. Chernaski, S. A. y Otros. Proyecto de Curso de Elementos de Maquina. Moscú, Editorial Mashinoestroyemie, Año 1988.
12. [Crear 3D](http://www.crear3d.com/testimonio.htm) <[www.crear3d.com/testimonio.htm](http://www.crear3d.com/testimonio.htm) >[Consultado 15 Marzo 2004].
13. Faires, V. M. Diseño de elementos de Máquinas. Editorial UTEHA. México, Año 1985.
14. Guliaev, M “ Metalografía ”editorial MIR. Moscú. Año 1962.

15. Hernández, S. R. Metodología de la Investigación. Editorial Mc. Graw- Hill. México Año 1991.
16. <http://www.CESELMED.com>. “Lider latinoamericano en información medica”. [Consulta 10 Abril 2004].
17. [http://www. Centro Médico Teknon.com](http://www.Centro Médico Teknon.com). “Osteoartritis de rodilla”. [Consulta 15 Mayo 2004].
18. [http://www. Centro Médico Teknon.com](http://www.Centro Médico Teknon.com). “Injerto de condrocitos”. [Consulta 15 Mayo 2004].
19. <http://www.encolombia.com>. “Desgaste del cartílago de rodilla en mujeres y hombres”. [Consulta 8 Febrero 2004].
20. <http://www.ibv.com> [Consulta 22 abril 2004].
21. <http://www.ibv.com>. “Biomecánica Deportiva”. [Consulta 22 abril 2004].
22. <http://www.ibv.com>. “Biomecánica Ocupacional”. [Consulta 22 abril 2004].
23. <http://www.ibv.com>. “Biomecánica Médica”. [Consulta 22 abril 2004].
24. <http://www.matweb.com>. “Material property data”. [Consulta 18 marzo 2004].
25. <http://www.medline.com>. “Transportes Osteocondrales”. [Consulta 10 Abril 2004].
26. <http://www.medline.com>. “Cirugía Mínima Invasiva”. [Consulta 10 Abril 2004].
27. <http://www.mullerfoundation.com>. “Errores en la osteosíntesis”. [Consulta 12 Marzo 2004].
28. <http://www.traumaweb.com>. “Artroscopía de Rodilla”. [Consulta 10 Abril 2004].
29. <http://www.traumaweb.com>. “Técnica de Mosaicoplastia”. [Consulta 5 Abril 2004].
30. Juvinal, R. Fundamentos de diseño para Ingeniería Mecánica. Editorial Limusa. México, Año 1985.
31. [Medical Equipment Designer - July 99 - special report: ...](#) 800-374-9235. <http://www.engineous.com>. Circle 712. Part Spec/Plant Spec. Thomas Register, [manufacturingcenter.com/med/archives/0799/799esob.asp](http://www.manufacturingcenter.com/med/archives/0799/799esob.asp) - 12k. [Consulta 20 Abril 2004].

32. Medical Equipment Designer - Mar/Apr 2000 - NDES 2000 Preview. Thomas Register, Booth 1619. Parts libraries. Part Spec and Plant Spec are titles used by designers, engineers and others in such industries as machine design manufacturingcenter.com/med/archives/0300/0300cc\_1.asp. [Consulta 16 Abril 2004].
33. Mompin, J. (CAD/CAM/CAE) Diseño y Fabricación por computadoras. Barcelona Editorial Baixareu, Año 1986.
34. Muller, M. E “ Errores en la osteosintesis”<http://www.mullerfoundation.com>. [Consulta 12 Marzo 2004].
35. Müller, M. E. M. Allgöwer, R. Schneider y H. Willenegger “Teniques recommended by the AO-ASIF Group”. Springer, Berlin. Año 1991.
36. Oberson, J.C. “DAVID, atlas of human anatomy”, <http://www.cid.ch/DAVID/JOIN/iljoiiima.html>. [Consulta 21 Marzo 2004].
37. Pisarenko, G. S. Manual de Resistencia de Materiales. Moscú. Editorial MIR, Año 1985.
38. Proubasta, J. Gil Mur y J. A Planell. “Fundamentos de biomecanica y biomateriales”, Ediciones Ergón. Año 1997.
39. Reshetov, D. Elementos de Máquinas. Moscú. Editora Machinoestroyemie, Año 1989.
40. Savio, L-Y Wool, Edmond P. Young, Michael K. Kwan. “ Fundamental studies in knee ligament mechanics”. Orthopaedic Bioengineering Laboratoty, Universiy of California. Año 1990.
41. Shigley, V. E. Diseño en Ingeniería Mecánica. Editorial Mc. Graw - Hill. México, Año 1985.