

CAPÍTULO 10

EL CEMENTO EN LAS PRÓTESIS ARTICULARES. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES

Autores: Raquel Rita Izquierdo García y Giovanni Fruner

Coordinadora: Beatriz Romero Pérez
Complejo Hospital Universitario Insular Materno Infantil de Las Palmas de Gran Canaria

1. INTRODUCCIÓN

El cemento óseo, conocido como polimetilmetacrilato (PMMA), ha sido empleado en la fijación de prótesis desde la década de 1950. Su uso en ortopedia se remonta a 1958, cuando el cirujano Dr. John Charnley lo utilizó por primera vez en una prótesis total de cadera⁽¹⁾. Desde entonces, su aplicación se ha consolidado y ampliado, no solo en otros tipos de implantes articulares, sino también en el relleno de cavidades óseas y como complemento en la fijación de fracturas patológicas o en hueso osteoporótico. La evolución del cemento óseo desde sus inicios hasta la actualidad ha sido el siguiente: Tabla 1.

El desarrollo en las técnicas de cementación ha permitido reducir errores en su utilización y mejorar la estabilidad y durabilidad del anclaje en prótesis cementadas. No obstante, entre las principales desventajas del

cemento se encuentran la complejidad de su extracción y la dificultad para realizar un recambio.

2. COMPOSICIÓN DEL CEMENTO

El componente principal del cemento es el polimetilmetacrilato (PMMA), un compuesto acrílico autopolimerizable⁽¹⁾, el cual se presenta en dos partes: una en forma de polvo y otra líquida que se mezclan en una proporción de 2 a 1.

La parte sólida contiene un 87% de PMMA, un 10% de un agente radioopaco (sulfato de bario o el dióxido de circonio) y un 2% - 5% de peróxido de benzoilo. El componente líquido está formado en un 97% por metilmetacrilato junto con un antioxidante (como el éster metílico de hidroquinona, topanol o hidroquinina) y una amina terciaria (DMP-toluidina al 3%) que actúa como acelerador de la polimerización.

Antes de su aplicación, ambos componentes se mezclan y agitan hasta formar una pasta. El monómero líquido disuelve parcialmente la superficie del polvo y, simultáneamente, inicia la polimerización, integrando los gránulos en una matriz en formación. A medida que avanza este proceso la pasta adquiere mayor consistencia hasta endurecerse completamente (Figura 1).

Tabla 1. Evolución de la generación de cementos

Generación	Viscosidad del PMMA	Método de mezcla	Presurización	Elementos adicionales
PRIMERA	Alta	Manual	No	Ninguno
SEGUNDA	Baja	Manual	Con pistola	Ninguno
TERCERA	Baja	Centrifugación con vacío	Con pistola	Ninguno
CUARTA	Baja	Centrifugación con vacío	Con pistola	Centradores en vástago y espaciadores de cotilo

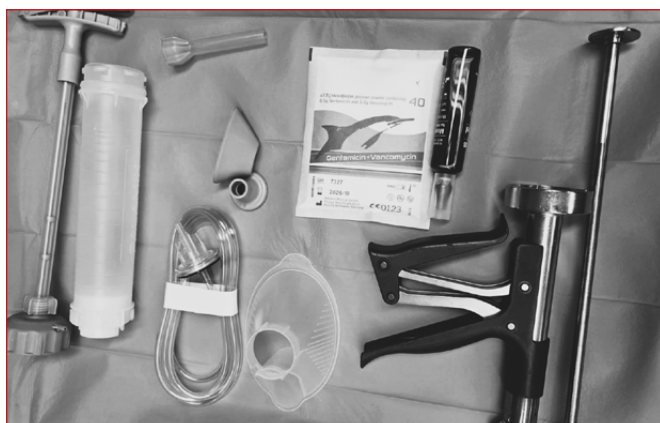


Figura 1. Componentes para la cementación (monómero-líquido, polímero-polvo y pistola de cementación con sistema de vacío y presurización).

3. TÉCNICA DE CEMENTACIÓN Y SUS PROPIEDADES MECÁNICAS

Las técnicas manuales para mezclar el cemento presentan una considerable variabilidad, lo que con frecuencia da lugar a una elevada porosidad del material. Para reducirla pueden emplearse métodos como la centrifugación y la mezcla al vacío ⁽²⁾. Esta mezcla al vacío va a permitir que asciendan las burbujas a la superficie donde se romperán y se eliminarán gracias al vacío parcial.

El amasado se realiza durante 90 segundos tras la completa humidificación del polvo, momento en el cual el cemento alcanza un estado prácticamente libre de poros. La centrifugación también contribuye a disminuir la porosidad lo que mejora la resistencia del cemento a la fatiga.

Para lograr una mejor distribución en la cavidad medular el cemento debe presentar una baja viscosidad, facilitando su aplicación a baja presión. El objetivo es obtener un lecho homogéneo de cemento que garantice la máxima resistencia mecánica. El cemento actúa como principal estabilizador y transmisor de la presión, por lo que, es esencial un prensado óptimo entre el cemento y las distintas estructuras.

Es fundamental evitar la presencia de fisuras entre el cemento y el hueso. La revascularización del canal medular ocurre de forma lenta y tardía generando una cavidad secundaria.

Las técnicas de perforación del canal destinadas a acomodar la prótesis son una contraindicación para el cementado a presión, ya que, comprometen significativamente la vascularización de la cortical ósea lo que puede llevar a necrosis y colapso de la estructura protésica, provocando inestabilidad ⁽³⁾.

La mezcla del cemento con la sangre disminuye considerablemente su resistencia mecánica. El lecho del implante debe mantenerse limpio, libre de sangre y restos de médula ósea, lo cual se logra mediante irrigación, cepillado, aspiración y sellado previo de la cavidad.

Debemos conseguir un espesor óptimo de la capa de cemento que se sitúa entre 2 y 4 milímetros ⁽³⁾, pues se considera el principal determinante de la estabilidad biomecánica y longevidad del implante.

Hay que tener en cuenta que:

- Un espesor delgado (<2 mm) mejora la capacidad de deformación, pero compromete la resistencia máxima a la carga, probablemente debido a la distribución no uniforme del cemento y al aumento de la concentración de tensiones, aumentando el riesgo de rotura de la capa de cemento.
- Un espesor excesivo (>4 mm) se asocia con un rendimiento mecánico reducido (disminuye tanto la capacidad de deformación como la resistencia), posiblemente debido a una mayor fragilidad y susceptibilidad a las microfisuras, pudiendo acelerar el aflojamiento o fallo del implante bajo cargas fisiológicas.

De ahí la importancia de optimizar la técnica de cementación para equilibrar la flexibilidad y la resistencia mecánica, teniendo en cuenta factores específicos del paciente como la calidad ósea, nivel de actividad y diseño del implante ⁽⁴⁾.

Los bordes rugosos del componente metálico de la prótesis aumentan el riesgo de fractura del cemento, comprometiendo la estabilidad de la prótesis, por lo que, preferiblemente deben tener bordes lisos. Las propiedades mecánicas del cemento se observan en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades mecánicas del cemento

Amasado durante 90 segundos
Mezclar en vacío (disminuye la porosidad y microrroturas)
Utilizar cemento de baja viscosidad
Utilizar presurización
Limpiar el canal de sangre y restos mediante irrigación a presión, cepillado, aspiración y sellado previo de la cavidad
Espesor óptimo de la capa de cemento (2-4 mm)
Utilizar prótesis de bordes lisos

La incorporación de antibióticos al cemento tiene efectos mínimos cuando estos se añaden en fábrica, pero puede alterar significativamente las propiedades del material si se agregan en el quirófano. Los antibióticos más utilizados son la gentamicina y la tobramicina, aunque también existen cementos comerciales que contienen clindamicina, vancomicina o colistina. De todos ellos, la gentamicina ofrece la mejor relación en cuanto a duración y concentración efectiva ⁽⁵⁾.

La cementación se desarrolla en tres fases: mezcla, trabajo y endurecimiento. Hay que tener presente que, una vez iniciado el proceso, no puede interrumpirse. La temperatura ambiente no influye en el tiempo de mezcla, pero sí en el tiempo de trabajo y endurecimiento, por lo que un aumento de esta acorta los tiempos (a mayor temperatura, más rápido fragua) y una disminución los alarga (a menor temperatura, más lento fragua). La preparación inadecuada del cemento es una de las razones del fallo de la prótesis ⁽⁶⁾.

Las interfases del cemento (cemento-hueso y cemento-prótesis) son cruciales para la estabilidad y durabilidad a largo plazo de las prótesis ortopédicas.

La unión entre el cemento y el hueso se basa en la interdigitación mecánica, y no en la adhesividad. La resistencia de esta unión depende de la superficie y la penetración del cemento en el hueso (hasta 5 mm). La calidad de esta interfaz se mejora utilizando cementos de baja viscosidad, realizando limpieza meticulosa del canal y aplicando presurización durante la colocación ⁽⁶⁾.

El cemento óseo sigue en constante investigación con el objetivo de mejorar sus propiedades biomecánicas. En la actualidad, el uso de materiales aditivos con diferentes propiedades añadidos al cemento óseo es uno de los métodos adoptados para mejorar las propiedades físicas, mecánicas y biológicas del cemento óseo ⁽⁷⁾, aumentando su resistencia a la fractura y al desgaste y optimizar su uso en la prevención y tratamiento de infecciones, todo ello sin comprometer su integridad estructural ⁽⁸⁾.

Entre los compuestos investigados se encuentran:

- **Gentamicina:** reduce significativamente la incidencia de infecciones postoperatorias.
- **Vitamina E:** mejora la citocompatibilidad del cemento, reduce el pico térmico durante la polimerización, minimizando la necrosis tisular.
- **Copolímero MMA:AA:AMA (polimetilmetacrilato, ácido acrílico y alilmetacrilato):** incrementa la dureza del cemento en comparación con el PMMA estándar.
- **Nanopartículas de plata (AgNP al 1%):** ofrecen una actividad antibacteriana continua frente a *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus mirabilis* y *Staphylococcus aureus*, aunque con una reducción de la resistencia mecánica.
- **Nanosilver (5–50 nm):** eficaz contra *Staphylococcus epidermidis*, MRSE y MRSA, sin efectos adversos significativos sobre la citotoxicidad en comparación con el cemento estándar.
- **Nanopartículas de quitosano (CS) y óxido de grafeno (GO):** muestran actividad antimicrobiana (potente actividad bactericida in vitro frente a *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus epidermidis*, sin aumentar la citotoxicidad ni disminuir la resistencia mecánica) y favorecen la osteointegración ⁽⁸⁾.
- **Nanopartículas de dióxido de titanio (TiO₂) y de óxido de alúmina (Al₂O₃):** mejoran la elasticidad y la compresión ⁽⁷⁾.
- **Nanopartículas de óxido de magnesio (MgO)** mejora la adhesión celular, reduce la necrosis tisular y el riesgo de fugas de cemento.
- **Nanopartículas de fosfato de calcio (Ca₃ (PO₄)₂):** mejora la resistencia mecánica del cemento.
- **Nanopartículas de óxido de alúmina (Al₂O₃):** mejorar la resistencia a la compresión del cemento óseo y aumenta la dureza, disminuyendo la porosidad evitando el aflojamiento ⁽⁷⁾.
- **Nanopartículas de oro:** actividad antibacteriana contra cepas de *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina (SARM) y *Pseudomonas aeruginosa* ⁽⁹⁾.
- La incorporación de estas nanopartículas y aditivos bioactivos al cemento tiene una evidencia clínica a largo plazo aún limitada.

3.1. Complicaciones del cemento

Las propiedades biológicas y mecánicas del cemento generan diversas implicaciones al interactuar en el tejido vivo en el que se deposita, produciendo una serie de complicaciones locales y sistémicas:

- **Locales:** aumento de la temperatura (hasta 133° sin repercusión clínica), citotoxicidad del líquido (sin repercusión clínica), separación y fracturas del cemento.
- **Sistémicas:** hipotensión arterial (citotoxicidad del miocardio), microembolia pulmonar múltiple, reacciones alérgicas.

3.2. Objetivos del cemento

La cementación es el método más ampliamente utilizado para la fijación de prótesis totales de cadera y rodilla. Este procedimiento permite una distribución más homogénea de las cargas, incrementa la superficie de contacto entre el hueso y el implante protésico, reduce las concentraciones de tensiones, facilita el relleno de los espacios óseos y compensa posibles defectos técnicos durante la cirugía.

Presenta altas tasas de supervivencia del implante y bajos índices de recambio, aflojamiento aséptico, osteólisis y dolor femoral, lo que lo convierte en el gold standard en artroplastias totales de cadera, aunque el uso de prótesis no cementadas está ganando terreno, y en artroplastia totales de rodilla.

3.3. El cemento en la prótesis total de cadera

En artroplastia de cadera, estudios recientes destacan, que el grosor óptimo del manto del cemento es el principal determinante de la estabilidad biomecánica, superando incluso la influencia de la posición del implante.

Un manto más grueso puede mejorar la absorción de energía, pero si es excesivo, puede comprometer la resistencia final. De ahí la importancia de optimizar la técnica de cementación para equilibrar la flexibilidad y la resistencia mecánica ⁽⁴⁾.

La fijación con cemento continúa siendo una opción altamente confiable tanto en artroplastias primarias de cadera como en procedimientos de revisión con excelentes resultados clínicos.

La durabilidad a largo plazo de los implantes cementados está comprometida por el deterioro mecánico gradual del manto de cemento. Entre los factores determinantes están: las microfisuras, la fatiga y la acumulación de restos de desgaste que pueden provocar un aflojamiento aséptico, que producirá fallo del implante.

Suelen verse con más frecuencia a partir de la segunda década posterior a la cirugía con un aumento en los casos de aflojamiento clínico y radiológico.

Pese al éxito de las prótesis cementadas, hoy en día, las prótesis no cementadas con fijación biológica (mediante osteointegración) a través de crecimiento óseo sobre superficies porosas se han convertido en una práctica estándar, con resultados muy satisfactorios a medio y largo plazo.

3.4. El cemento en la prótesis de rodilla

La cementación continúa siendo el gold standard en la artroplastia de rodilla ⁽¹⁾, aunque muchas publicaciones

han reportado que tanto los métodos de fijación cementados como los no cementados ofrecen una supervivencia y resultados funcionales similares⁽¹⁰⁾. Sin embargo, el desgaste del polietileno y la osteólisis siguen representando sus principales limitaciones.

En artroplastia de rodilla, la evidencia apoya el uso de lavado pulsátil, secado meticuloso del hueso y perforación de orificios en la tibia antes de la cementación. Además, la aplicación de cemento tanto en el hueso como en la superficie protésica mejora la penetración y la distribución del cemento.

El uso de pistola de cemento es preferible al mezclado manual, ya que reduce la heterogeneidad estructural y mejora la interfaz cemento-hueso. El uso de presurizadores puede aumentar la penetración del cemento en ciertas zonas, aunque su impacto en la fijación global aún requiere más investigación ⁽¹⁰⁾.

4. CONCLUSIÓN

La cementación sigue siendo una técnica confiable y reproducible en la actualidad, ofreciendo buenos resultados a medio y largo plazo tanto en cirugías de sustitución protésica como en el tratamiento de fracturas osteoporóticas e incluso en cirugía oncológica.

Una preparación adecuada (adecuado grosor y distribución del cemento y técnica adecuada de aplicación con lavado, secado, uso de pistola y presurización) es fundamental para lograr los mejores resultados biomecánicos y clínicos, y, junto con una correcta selección de pacientes, garantiza el éxito del procedimiento quirúrgico.

El futuro parece estar en las nuevas formulaciones que incorporan aditivos, como antibióticos para combatir infecciones, compuestos que mejoran la resistencia mecánica a la fractura o al despegamiento, y otros que prolongan la durabilidad del material.

BIBLIOGRAFÍA

1. Wang Q, Dong JF, Fang X, Chen Y. Application and modification of bone cement in vertebroplasty: a literature review. *Jt Dis Relat Surg*. 2022 Jul 6;33(2): 467-78.
2. Zivic F, Babic M, Grujovic N, Mitrovic S, Favaro G, Caunii M. Effect of vacuum – Treatment on deformation properties of PMMA bone cement. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2012 Jan;5(1): 129-38.
3. Schneider R. La prótesis total de cadera, un concepto biomecánico y sus consecuencias. Madrid: Editorial AC 1983.

4. Fazakas R, Bondar LI, Toth C, Osser B, Ilia I, Miuta CC, *et al.* Biomechanical impact of cementation technique variations on femoral stem stability: an in vitro polyurethane model study. *J Clin Med.* 2025 May 8; 14(10):3291.
5. Chan Y. Gentamicin in bone cement. A potentially more effective prophylactic measure of infection in joint arthroplasty. *Bone Joint Res.* 2013 Oct;2(10):220-6.
6. Robu A, Ciocoiu R, Antoniac A, Antoniac I, Raiciu AD, Dura H, *et al.* Bone Cements Used for Hip Prosthesis Fixation: The Influence of the Handling Procedures on Functional Properties Observed during In Vitro Study. *Materials.* 2022; 15(9):2967.
7. Gamal S, Mikhail M, Salem N, El-Wakad MT, Abdelbaset R. Enhanced bone cement for fixation of prosthetic joint utilizing nanoparticles. *J Mater Sci Mater Med.* 2025 Jan 13;36(1):10.
8. Maniit Arora, Edward KS Chan, Sunil Gupta, Ashish D Diwan. Polymethylmethacrylate bone cements and additives: a review of the literature. *World J Orthop.* 2013 Apr 18;4(2):67-74.
9. Robu A, Antoniac A, Grosu E, Vasile E, Raiciu AD, Iordache F, *et al.* Additives Imparting Antimicrobial Properties to Acrylic Bone Cements. *Materials.* 2021; 14(22):7031
10. Schonhoff M, Beckmann NA, Schwarze M, Eissler M, Kretzer JP, Renkawitz T, Jaeger S. Is TKA femoral implant stability improved by pressure applied cement? A comparison of 2 cementing techniques. *BMC Musculoskelet Disord.* 2023 Jan 21;24:51.