

MATERIALES MAGNETICOS EN ODONTOESTOMATOLOGIA

A. F. Espías Gómez*
S. Alonso Pérez**

Espías Gómez, A. F.; Alonso Pérez, S.; Materiales magnéticos en Odontostomatología.
Avances en Odontostomatología, 1990, 6: 533-546.

RESUMEN

Los sistemas magnéticos vienen siendo empleados en el ámbito dental desde hace 40 años. En un principio de forma aislada y anecdótica y más recientemente, gracias al desarrollo de potentes imanes de tierras raras, han surgido nuevos métodos de aplicación de los mismos que constituyen una alternativa válida y probada clínicamente, a los sistemas mecánicos.

Numerosos estudios clínicos y experimentales avalan su utilización en rehabilitaciones protésicas, tanto en prótesis parciales removibles, como en sobredentaduras dento e implantosoportadas y en otros campos, como la ortodoncia.

Describimos la evolución histórica de los sistemas magnéticos usados en odontostomatología, los principios físicos y mecánicos por los que se rigen, sus características como biomateriales y los diversos diseños y formas de aplicación de los mismos.

Palabras clave: Imanes, Tierras Raras, Samario-Cobalto, Neodymio, Materiales Magnéticos.

SUMMARY

In the last 40 years, magnets have been used in dentistry. Initially as anecdotic reports, but recently, after the development of powerful rare earth magnets, new applications of them have arised and offer a clinically proved alternative to mechanical systems.

Many experimental and clinical trials have demonstrated their adequate use in prosthetic rehabilitations, partial removable or overdentures, tooth or implant beared, or in other like orthodontics.

The authors describe the historical evolution of magnetic systems used in dentistry, their physical and mechanical principles, their attributes as biomaterials and their designs and way of use.

Key Words: Magnets, Rare Earth, Samarium-Cobalt, Neodymium, Magnetic Materials.

* Profesor Encargado de la Disciplina de Materiales Dentales.
Facultad de Odontología. Universidad de Barcelona.

** Médico Estomatólogo. Cirujano Infantil.

dustria, y cuyas reducidas dimensiones y elevada potencia, los han hecho aptos para aplicaciones intraorales, en la retención de diversos tipo de prótesis, o bien como vectores de fuerzas de aplicación ortodóntica.

Exponemos en este trabajo la evolución histórica del uso de imanes en odontostomatología, las propiedades físicas, mecánicas y biológicas que los caracterizan, los diferentes diseños de sistemas magnéticos abiertos y cerrados y su repercusión en la fuerza de retención, así como sus posibles aplicaciones clínicas.

EVOLUCION HISTORICA DE LOS SISTEMAS MAGNETICOS EN ODONTOESTOMATOLOGIA

El uso de sistemas magnéticos en odontostomatología data de principios de los años 50, en que Freedman (1) describe el uso de imanes para estabilizar dentaduras completas. La técnica consistía en colocar imanes Alnico en ambas dentaduras de forma que oponiendo polos idénticos se produjese una repulsión entre ambas, lo que teóricamente ayudaría a la estabilidad en sus bases. Pero el enfrentamiento de dos polos magnéticos del mismo signo produce, no sólo un efecto de repulsión, sino además un deslizamiento, lo que provocó el fracaso de su aplicación al deslizarse las bases de las dentaduras y perderse el efecto repulsivo.

A éste le sucedieron otros intentos más sofisticados de uso de imanes para aumentar la estabilidad de prótesis completas, como los descritos por Behrman (2,3) y consistentes en la implantación de imanes Alnico en el hueso alveolar y oponerlos a otros inmersos en

INTRODUCCION

En la última década se está produciendo una auténtica revolución en el campo de los materiales para uso odontológico. Continuamente estamos asistiendo a la aparición de nuevos materiales, a la indudable mejora de las propiedades de otros ya existentes, al desarrollo de nuevas técnicas y en general a la aplicación al ámbito dental de los descubri-

mientos que en otras áreas están aportando las nuevas tecnologías.

Estas innovaciones también tienen un destacado reflejo en la aplicación dental de los sistemas magnéticos. Así, a pesar de que hace más de 40 años que los imanes comenzaron a usarse en la retención de prótesis orales, ha sido en los últimos años, cuando se han desarrollado nuevos diseños de imanes de tierras raras y campo cerrado, ya ampliamente utilizados en la in-

la base de la dentadura, con el fin de producir la atracción entre polos opuestos. Se consiguió una atracción efectiva entre ambos, aunque en algunos casos esta atracción constante provocaba la migración de los imanes endoóseos a través del hueso del tejido gingival, que llegaba a perforarse, lo que condicionó el desuso de esta técnica.

Además los imanes utilizados en esa época, tipo ferrita, alnico o platino-cobalto, necesitaban tamaños demasiado grandes, para obtener una adecuada potencia magnética. Reducimos a dimensiones que pudieran utilizarse en la cavidad oral, 3 a 5 mm, la proximidad de los polos norte y sur, tiende a anularlos mutuamente, constituyendo entonces pobres medios de retención, ya que la fuerza necesaria para separarlos es de unos 5 a 10 gramos. Las fuerzas de retención empleadas en odontología se sitúan en una banda entre 400 y 1000 gramos (4), por lo que en ese momento los sistemas magnéticos no constituyen una alternativa a los anclajes mecánicos.

En 1967 Becder (5) introdujo los imanes de tierras raras, denominándose imanes permanentes debido a su alta coercividad, es decir a su elevada resistencia a ser desmagnetizados. El término tierras raras, también denominadas lantánidos, no implica necesariamente una existencia escasa de dichos elementos en la naturaleza, sino más bien raros, desde el punto de vista de la dificultad de su extracción y purificación. Su capacidad de ejercer potentes fuerzas de atracción en relación a su relativamente pequeño tamaño renovó el interés del uso de sistemas magnéticos en el ámbito dental.

Moghadam y Scandrett (6) introdujeron el uso de imanes de Samario-Cobalto (Sm-Co) para aumentar la retención y estabilidad de sobredentaduras, de forma que un imán era cementado en raíces tratadas endodónticamente y otro, enfrentando su polo opuesto, era incluido en la base de la sobredentadura. Asimismo comenzó su apli-

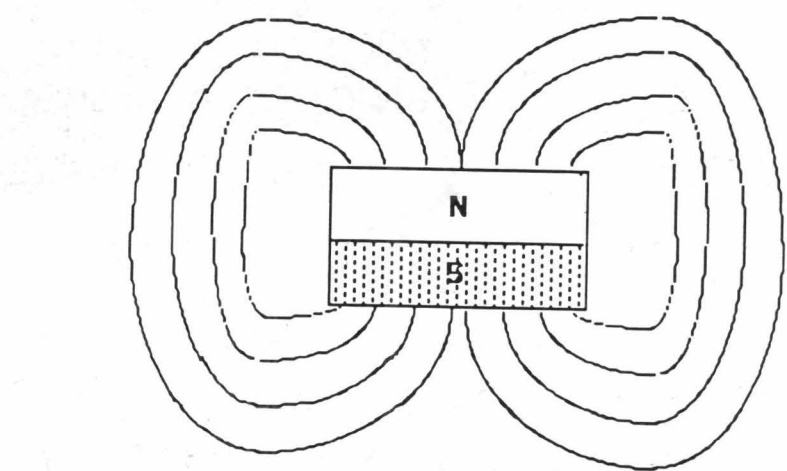


Fig. 1. Imán abierto.

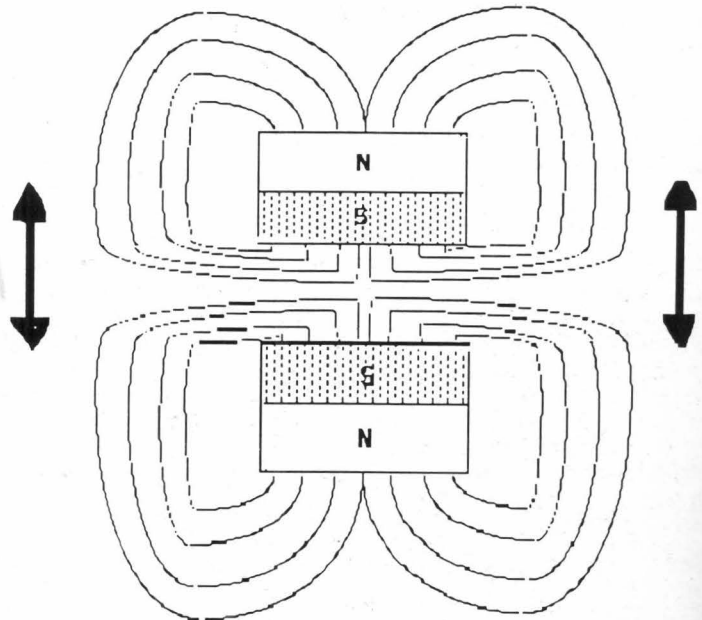


Fig. 2. Imanes en repulsión.

cación ortodóntica en forma de brackets y otros dispositivos magnéticos, diseñados por Kawata y colaboradores (7,8).

Desde entonces y con la aparición de un nuevo imán de tierras raras de mejores características, basado en el neodimio (Nd) y constituido por una aleación de neodimio-hierro-boro han sido descritas múltiples aplicaciones dentales de los sistemas magnéticos, en prótesis parcial removible (9, 10, 11), sobredentaduras (12, 13, 14, 15, 16), prótesis mixtas y maxilofaciales (17)

en sobredentaduras implantosoportadas (18, 19, 20) y en ortodoncia (21, 22, 23).

PROPIEDADES FISICAS DE LOS IMANES EN RELACION CON SUS APLICACIONES ODONTOLOGICAS:

— **Producto energético:** Se define como la fuerza de atracción entre un imán y un objeto opuesto. Se mide en unidades mega-gaussersted (MGO). Así los imanes de

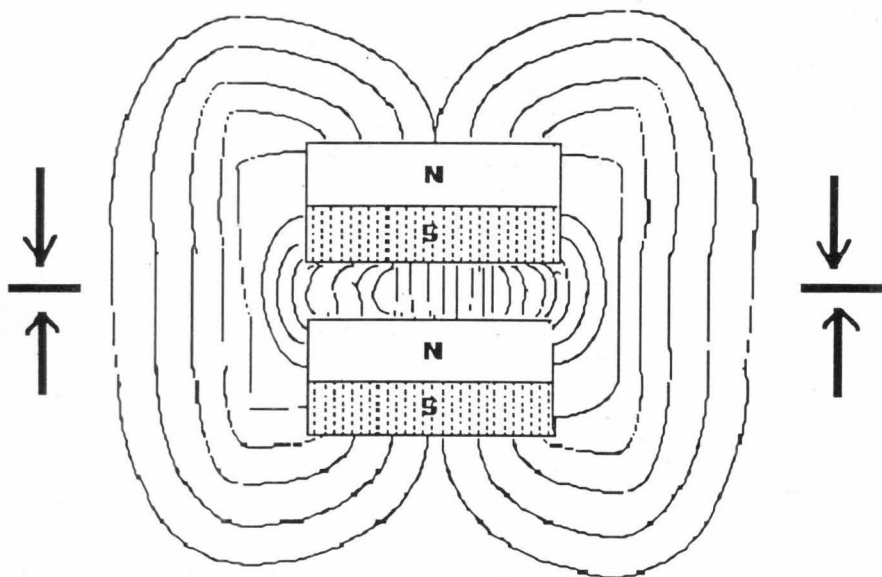


Fig. 3. Imanes en atracción con hendidura.

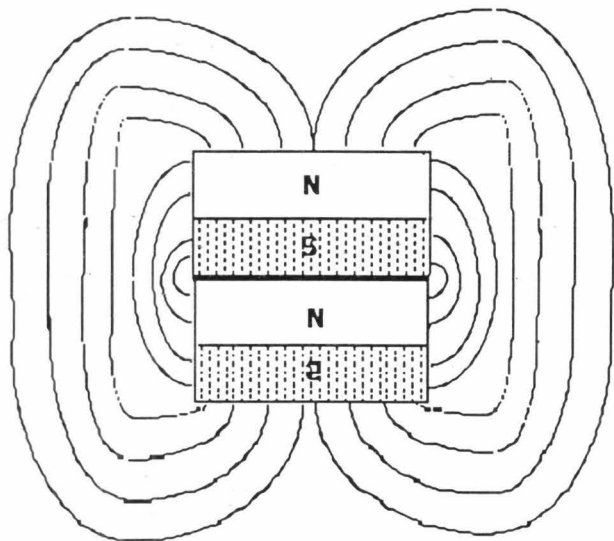


Fig. 4. Imanes en atracción sin hendidura.

Sm-Co presentan un producto energético de 18 MGO, mientras que el de los más recientes de Neodimio (Nd) es de 32 MGO, es decir un 20% más potentes.

— **Coercividad:** Se define como la resistencia de un imán a ser desmagnetizado. Así los imanes de tierras raras, como el Sm-Co o el Nd, presentan como propiedad intrínseca una elevada coercividad, es decir que son capaces de mantener indefinidamente su potencia de atracción, por lo que se les denomina imanes permanentes.

Un elevado producto energético y una alta coercividad, son propiedades de indudable valor en la aplicación dental de los sistemas magnéticos, ya que con pequeños tamaños de imanes y objetos oponentes se obtienen importantes fuerzas de atracción, que además no decrecen con el paso del tiempo.

— **Fuerza de retención o de agarre:** Es la fuerza necesaria para «soltar» un imán de su objeto oponente. Se mide en gramos y depende no sólo del producto energético

co de un imán, sino también de su tamaño, configuración, tipo de objeto oponente y distancia al mismo. La fuerza de atracción entre un imán y su oponente decrece según el cuadrado de la distancia. La aplicación del concepto de retención a una dentadura retenida por sistemas magnéticos, sería la medida de la resistencia de dicha dentadura a ser desalojada de su posición. Se mide en gramos y la intensidad de la misma depende del tipo, número, situación y adecuación de los sistemas magnéticos empleados.

— **Fuerza de reasentamiento:** En el caso de una dentadura sería la habilidad de la misma para repositionarse, tras haber sido desalojada de su posición.

— **Permeabilidad magnética:** Se define como la propiedad del objeto oponente a un imán para permitir el paso a su través de las ondas magnéticas y dejarse atraer. Se mide en % en relación al producto energético del imán.

TIPOS DE SISTEMAS MAGNETICOS SEGUN SU CONFIGURACION

Según la disposición del o de los imanes utilizados y su relación con el oponente, que puede ser otro imán o bien un material magnetizable se pueden construir diversos sistemas magnéticos. Describiremos los mismos según la evolución histórica de los diseños aplicados a usos dentales.

— **SISTEMAS ABIERTOS:** Se denominan sistemas abiertos a aquellos en los que entre el imán y su oponente existe un campo magnético externo circundante.

— **Sistemas Abiertos con imanes no recubiertos:**

— **Imán abierto:** Es el clásico imán único en el que el campo magnético circula externamente entre ambos polos. (Fig. 1).

— **Sistema parejo en repulsión:** Fue el descrito por Freedman en 1953 (1) utilizando imanes inmersos en dentaduras completas, enfren-

tando polos idénticos, para inducir repulsión entre ellos. Presentan el efecto indeseable del deslizamiento o slippage lateral. (Fig. 2).

— *Sistema parejo en atracción con hendidura*: Fue el utilizado por Behrman en los años 60 (2,3) implantando uno de los imanes en el hueso alveolar y sumergiendo el otro en la base protésica, enfrentando polos opuestos y por tanto en atracción. Entre estos imanes existe una hendidura o separación por tanto es un sistema parejo en atracción con hendidura. (Fig. 3)

— *Sistema parejo en atracción sin hendidura*: Un ejemplo del mismo es el descrito por MoghAdam y Scandrett (6) en 1979, que fueron los primeros en aplicar un sistema de retención magnética para sobredentaduras (5). Utilizaron imanes de Sm-Co, uno de los cuales se colocaba en la cámara pulpar de dientes desvitalizados a los que se efectuaba una reducción de su corona en 1,5 a 2 mm. Se cortaba el imán según la forma de la cavidad, dándole incluso la convexidad de la forma de la corona y el imán oponente que se fijaba a la dentadura se tallaba dándole la forma complementaria. (Fig. 4).

— **Sistemas abiertos con imanes recubiertos**:

La facilidad para la corrosión de los imanes permanentes ha llevado a algunos autores a diseñar sistemas de recubrimiento de los mismos. Maroso y cols (14) describen un sistema parejo abierto en el que el imán intracoronal ya viene preformado y se ajusta a la forma de las brocas de ensanche. Una vez colocado éste en el interior de cavidad se enfunda el muñón con una corona de oro cuyo espesor oclusal se reduce a 0,2 mm. El imán oponente se coloca inmerso en la sobredentadura y recubierto en la cara tisular por un espesor de acrílico de 0,3 mm. Esto produce una hendidura intermagnética de unos 0,5 mm, que aunque reduce la fuerza retentiva, permite un aislamiento de los imanes, con una buena fuerza de retención, dada la potencia magnética de los imanes de Sm-Co. (Fig. 5).

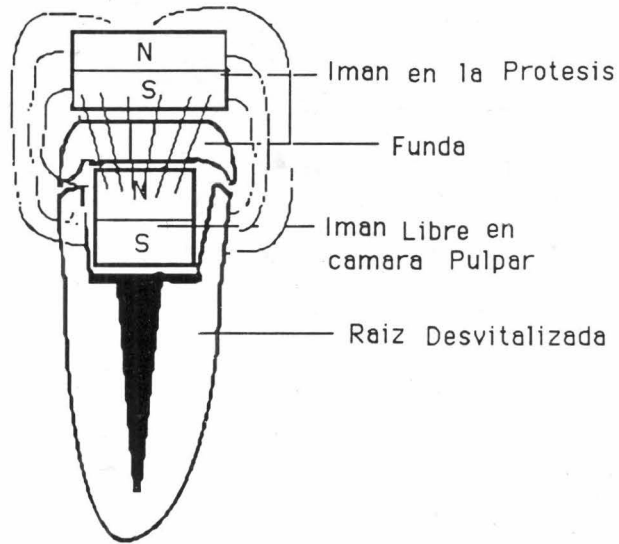


Fig. 5. Sistema Abierto, Imanes en Atracción Recubierto de Maroso y Cols.

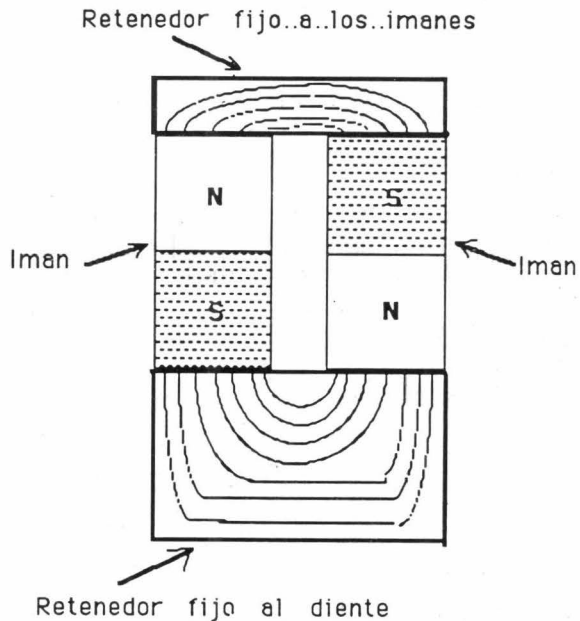


Fig. 6. Sistema Cerrado tipo Split-Pole.

En ortodoncia se han empleado sistemas abiertos con imanes inmersos en placas de acrílico, bien sea en repulsión para conseguir intrusión dentaria y deslizamiento anterior mandibular para la corrección de clases II con altura facial inferior elevada (21) o en atracción como el descrito por Vardimon (23) en su aparato funcional magnético ortopédico.

La desventaja de los sistemas de campo abierto es que sólo utilizan un polo del imán. Además el cam-

po de flujo magnético del otro polo irradia hacia los tejidos circundantes. Jackson (11) afirma que la presencia de estos campos magnéticos puede a largo plazo presentar efectos sobre los tejidos vivos, y desde un punto de vista práctico, ser molesto por la atracción que pueden ejercer sobre objetos metálicos (tenedores y cucharas de acero inoxidable) o sobre instrumentos sensibles al magnetismo.

En la actualidad todos los siste-

mas magnéticos se comercializan con el imán provisto de un sistema de blindaje. En la Tabla I se exponen las características de varios sistemas magnéticos abiertos.

— SISTEMAS MAGNETICOS CERRADOS:

Los sistemas magnéticos cerrados consisten en diseños de uno o dos imanes asociados a una o más placas ferromagnéticas, con el fin de que la corriente magnética circule a través de dichas placas, ya que aportan una vía de menor resistencia, con lo que la radiación electromagnética (11) discurre canalizada entre imán y placa, formando un circuito completo y eliminando en gran parte la presencia de campos magnéticos externos a los mismos.

Se derivan de la aplicación de los principios de la conducción de la corriente eléctrica (a la que en cierto modo puede ser asimilable la corriente magnética) y por ello el oponente no suele ser un imán sino un metal magnetizable de baja coercividad y por tanto muy susceptible a ser magnetizado. En estos sistemas cerrados el oponente al imán se denomina generalmente «retenedor» (Keeper).

Además de eliminar el campo magnético externo, presentan la ventaja de aumentar la eficacia del sistema magnético, al utilizar tanto el polo norte como el sur. Jackson (11) denomina a estos sistemas anclajes de campo cerrado o montajes.

Los retenedores suelen estar compuestos o de acero inoxidable ferrítico o de aleaciones de Ni-Co-Pd, Ni-Co-Cr o bien de Fe-Cr-Ni-Cu.

Existen tres tipos de diseños básicos de sistemas magnéticos cerrados:

1) Tipo Polo Hendido o Dividido (split-pole): Consiste en dos imanes con sus polos invertidos, separados por una hendidura y unidos magnéticamente a una chapa de metal magnetizable denominada retenedor magnético fijo, que cierra el

TABLA I

CARACTERISTICAS DE VARIOS SISTEMAS MAGNETICOS DE CAMPO ABIERTO

Nombre Comercial	Fabricante	Compo-sic.	Tipo de diseño	Ancho	Alto	Fuerza de retención
Jobmax 18	Jobmaster Corp. Randallstown Md. U.S.A.	Sm-Co	Parejo en atracción	4,90	1,5	188 Grms
Jobmax 27	Jobmaster Corp. Randallstown Md. U.S.A.	Nd	Parejo en atracción	4,90	1,5	252 Grms
Neomax	H&R Associates Lawrence Kan U.S.A.	Nd	Parejo en atracción	—	—	252 Grms
General Electric	General Electric Research and Development N. Y. U.S.A.	Sm-Co	Parejo en atracción	5	2	102 Grms
Dyna	Dyna Dental Engineering Holanda	Sm-Co	Imán-Retenedor de PD-NI-CO	4,5	2,6	250 Grms

circuito por una parte. En la parte opuesta el circuito lo cierra el retenedor fijado al diente. El cierre del circuito magnético inferior es lo que confiere la atracción al retenedor dental. (Fig. 6).

El split-pole fue desarrollado por Gillins (15,16) en la universidad de Sidney, Australia y constituyó el primer sistema magnético cerrado de uso dental. Los imanes son de Sm-Co y capaces de aportar una fuerza de retención entre 290 y 375 gramos según autores (11, 20). El sistema está protegido contra la corrosión por una chapa de acero inoxidable.

El captor intrarradicular tiene un espesor de 1 mm y puede cementarse directamente a la raíz.

2) Tipo Sandwich o Montaje paralelo al grosor: Fue diseñado por

Jackson (11) y consiste en un imán rodeado lateralmente por dos placas metálicas, cuya misión es conducir, cada una de ellas el flujo magnético norte y sur. El retenedor cierra el circuito magnético. Este diseño fue adoptado por Jackson tras probar diversos montajes de imanes de igual volumen de Sm-Co y estudiar las curvas de fuerza/intervalo de aire para los mismos, comprobando en dicho estudio que este montaje ofrecía una mayor fuerza de retención.

Presenta la peculiaridad de ser el único sistema magnético de base hemisférica cóncava, de arco de radio de 0,375, que se acopla a un retenedor de superficie hemisférica convexa complementaria, lo que lo diferencia de los restantes que son de base plana. Jackson (11) defiende este diseño curvo de la

superficie de contacto, afirmando que permite una rotación de 3 a 5° de la prótesis, sin despegamiento del complejo imán-retenedor. El retenedor presenta un tetón de 0,5 mm de altura que sirve como tope para limitar los movimiento laterales.

Este sistema se comercializa (Solid State Innovation) en 2 tamaños, Regular y Mini, capaces de aportar una fuerza de retención, según autores (20,11) de entre 400 y 800 gramos. (Fig. 7).

Más recientemente ha surgido un diseño basado en el de Jackson y denominado Keystone Magnet. Es una modificación del Gillins Split-Pole, con configuración en sandwich, que presenta una armadura de base plana y no hemisférica y según Jackson (11) aporta una fuerza de retención de unos 400 gramos.








3) Tipo Blindaje en Copa: Consiste en un imán único, encerrado en un blindaje ferromagnético que aporta la propiedad de conducir el flujo magnético de un polo a su través. Así el blindaje conduce por ejemplo el flujo magnético del polo norte y el retenedor cierra el circuito conduciéndolo hacia el polo sur del mismo imán. La base del blindaje queda cerrada por una fina chapa. Ejemplos del mismo son el Magnedent, (Dental Ventures of America), que en sus tres tamaños aporta una fuerza de retención entre 100 y 220 gramos y el Adhesión (Dental Magnetic Montpellier, Francia). (Fig. 8) que en sus cuatro tamaños es capaz de aportar una fuerza de retención entre 350 y 900 gramos.

En la Tabla 2 se muestran diversos tipos de sistemas magnéticos cerrados con sus características de diseño, tamaños y fuerza de retención.

Algunos datos relativos a fuerza de retención van precedidos de las letras «J» y «H», es decir los medidos por Jackson y por Highton, que como se puede apreciar no son coincidentes. Los restantes son los indicados por el fabricante del sistema magnético.

TABLA II

SISTEMAS MAGNETICOS DE CAMPO CERRADO, DISEÑOS, TAMAÑOS Y FUERZA DE RETENCION

Sistema Magnético	Fabricante	Composic.	Tipo de diseño	Ancho mm.	Alto mm.	Oponente	Fuerza de retención gramos
Gillins Split-Pole System	Innovadent University of Sydney Australia	Sm-Co 	2 Imanes paralelos polo invertido unidos por chapa fija en un extremo	5,0	3,0	Método directo	J = 291 H = 375
Jackson - regular - mini	Solid State Innovation U.S.A.	Nd-Fe-Bo 	Montaje en sandwich, con 2 placas externas e imán interno base curva	R = 5,0 M = 5,1	R = 3,2 M = 2,4	Método directo 	Reg. J = 797 H = 472 Mini J = 637 H = 385
Magnedent - large - medium - mini	Dental ventures of America U.S.A.	Sm-Co 	Montaje en copa imán interno y blindaje externo alrededor	L = 5,7 M = 5,0 m = 4,5	L = 2,4 M = 2,0 m = 1,9	Método directo	Large J = 217 H = 375 Medium J = 177 H = 175 mini J = 103
S.H.I.N.E.R. stress directing magnet	Preat Corp. U.S.A.	Nd-Fe-Bo 	Imán con doble blindaje y cápsula de libre rotación	4,5	3,2	Método directo e indirecto	700
Gillins Keystone	Innovadent Sydney Australia	Sm-Co 	Montaje en sandwich con 2 placas externas e imán interno base plana	3,6	3,2	Método directo	J = 412
Adhesión - C3 - C4 - C5 - C6	Dental magnetic Montpellier Francia	Nd-Fe-Bo 	Montaje en copa imán interno y blindaje ferromagnético externo	- 3,9 - 4,7 - 5,2 - 6,2	- 1,9 - 1,9 - 1,9 - 2,2	Método directo imán-imán o indirecto imán-retenedor	- 350 - 450 - 600 - 900

J = valores tomados de Jackson (11)
H = valores tomados de Highton (20)

CONSIDERACIONES BIOLOGICAS DE LOS SISTEMAS MAGNETICOS

Uno de los requisitos básicos a cumplir por cualquier biomaterial que vaya a ser implantado o que vaya a estar en contacto con los tejidos vivos debe ser su biocompatibilidad y una perfecta tolerancia orgánica. En relación a los diversos sistemas magnéticos deberemos considerar su resistencia a la corrosión y los potenciales efectos que los campos magnéticos, por ellos producidos, puedan tener sobre el organismo receptor.

Corrosión:

Los imanes de tierras raras presentan una baja tolerancia a la corrosión al ser expuestos a los líquidos orgánicos. Los productos derivados de esta corrosión provocan decoloración y tinción permanente del tejido dentario, tejidos gingivales y de los materiales acrílicos de las dentaduras. Aunque algunos autores (11) suponen que estos productos no son tóxicos para los organismos vivos, existe un consenso general en que estos imanes deben estar encapsulados o recubiertos por algún tipo de material inerte, fino e impermeable. Para ello se han sucedido varios intentos de recubrimiento, como es el cromado de su superficie, pero presenta el inconveniente de ser dificultoso y fácilmente alterable; el revestimiento con materiales acrílicos, que no es seguro dado que su porosidad y la absorción de humedad pueden provocar la corrosión de los imanes. Otro método es enfundar el imán, de forma que quede completamente revestido de una capa fina de metal biocompatible. Esta técnica es la más adecuada y los sistemas magnéticos actualmente en uso presentan un blindaje metálico completamente hermético.

Efectos biológicos de los campos magnéticos:

Otro factor a considerar es el efecto de los campos magnéticos sobre los organismos vivos. Desde los conocidos tratamientos que Mesmer aplicaba ya en el siglo pa-

sado, de forma totalmente empírica, en los que afirmaba la curación de enfermedades mediante la aplicación de campos magnéticos, hasta los actualmente aceptados tratamientos de magnetoterapia, muchos estudios se han realizado sobre el efecto orgánico de las ondas magnéticas. En el campo dental, Cerry (24), mediante estudios experimentales primero sobre células sanguíneas y otros tejidos ani-

males y finalmente sobre tejidos dentales con imanes de Sm-Co potentes con una densidad de flujo de 95 miniteslas, afirma que la falta de respuesta de dichos tejidos apoya el concepto de que los campos magnéticos generados por los mismos son inocuos para dichos tejidos incluyendo dientes y tejidos peridentales. Estudios clínicos e histológicos, como el de Behrman (3) con 450 casos utilizando imanes

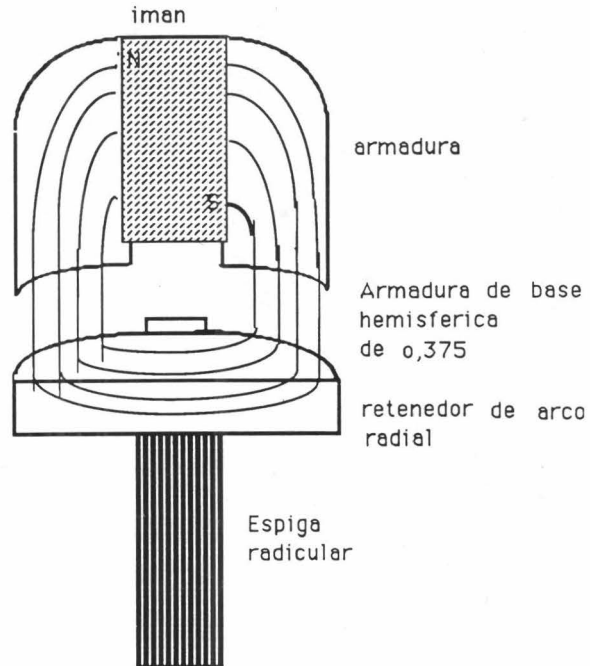


Fig. 7. Montaje cerrado en sandwich de Jackson, base hemisférica.

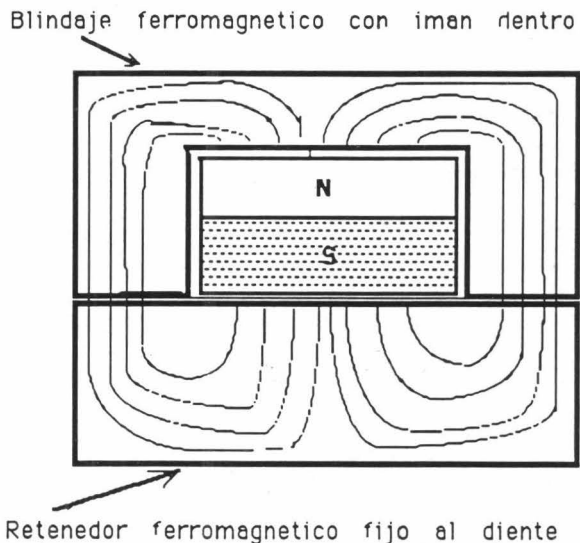


Fig. 8. Sistema Cerra tipo blindaje en copa.

de campo abierto que afirma que el efecto magnético no presenta ningún riesgo para los tejidos orales.

Sin embargo otros autores (12) postulan que los efectos a largo plazo de los campos magnéticos no pueden ser fácilmente mensurables. En relación a los imanes de campo cerrado Gendusa (13) afirma que las densidades de flujo de algunos de los imanes actuales para uso dental son muy bajas, del orden de 2 miteslas, lo que reduce considerablemente el posible riesgo potencial de dichos campos magnéticos. Así Gillins (16) estudiando la intensidad de flujo magnético axial y lateral de imanes de campo abierto y cerrado concluye que el montaje en campo cerrado disminuye entre 20 y 300 veces el flujo magnético a los tejidos vecinos, siendo éste de 0,1 militeslas, es decir aproximadamente el doble de la intensidad del campo magnético terrestre.

La utilización de sistemas magnéticos cerrados, en los que el flujo magnético discurre solamente entre el imán y su oponente, sin la formación, apenas, de campos magnéticos externos, reduce aún más la posibilidad de efectos nocivos, aún en discusión, de estos campos magnéticos.

PRINCIPIOS MECANICOS DEL USO DE IMANES EN ODONTOLOGIA

Describiremos los principios mecánicos en los que se basa la retención magnética basándonos en un sistema magnético cerrado compuesto por un imán blindado y un retenedor magnetizable, ambos de superficie plana.

— **Fuerza de retención o de agarre:** Se describe como la fuerza de unión entre un imán y su objeto oponente. Asimismo podemos definirla por la característica contraria, es decir, como la fuerza necesaria para «soltar» un imán de su retenedor. Ejerciendo una tracción axial, perpendicular a la superficie de contacto entre el imán y el retenedor, será la fuerza necesaria para conseguir una «ruptura» o se-

paración de dichas unidades. Se mide en gramos y depende no sólo del producto energético de un imán, sino también de su tamaño, configuración, tipo de objeto oponente y distancia al mismo.

Considerando que imán y retenedor están en contacto la fuerza de agarre dependerá de:

— Del producto energético del imán. Así los de Sm-Co es de 18 MGO y los de Nd es de 32 MGO.

— De la masa del imán. A mayor masa, mayor capacidad de retención.

— De la configuración. Una configuración del conjunto imán-retenedor en forma de sistema cerrado aumenta la retención, debido a que no se produce dispersión magnética y a que se emplean ambos polos. Dentro de los sistemas cerrados, unos montajes aportan más retención que otros (Fig. 2).

— De la permeabilidad magnética y coercividad del retenedor. A mayor permeabilidad magnética y más baja coercividad, es decir mayor capacidad para dejarse magnetizar, mayor será la fuerza de retención.

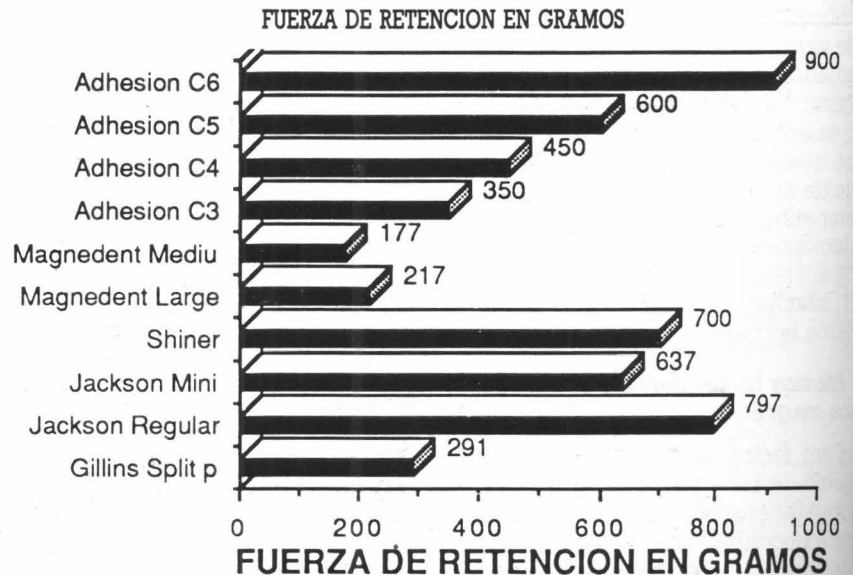
La Tabla 3 muestra la fuerza de retención de diversos sistemas magnéticos comerciales.

— Fuerza de retención en función de la distancia Imán-Retenedor:

En líneas generales se puede afirmar que la fuerza de atracción entre un imán y su oponente decrece proporcionalmente al cuadrado de su distancia. Highton y colaboradores (20) estudian la variación de dicha fuerza en función de varias «hendiduras» o distancias creadas entre diversos tipo de imanes y sus retenedores. Introducen distancias entre ambos que van de 0,1 a 0,5 mm y observan que la disminución de la fuerza de atracción se produce de forma exponencial, de modo que con 0,1 mm de separación, dicha fuerza disminuye de forma brusca en todos ellos, oscilando entre un 32 y un 58%. A una distancia de 0,2 mm la fuerza de retención decrece respecto a la original entre un 55 y un 72%. Cabe destacar, que de los sistemas magnéticos que describen, aquellos que en contacto tenían una mayor fuerza de retención muestran una más brusca reducción de la misma en los primeros 0,1 y 0,2 mm de separación. Con distancias de 0,4 y 0,5 mm los sistemas estudiados muestran una similar fuerza de retención, entre 40 y 80 grs.

Los estudios de fuerza/intervalo realizados por Jackson (11) corrobora-

TABLA III



ran asimismo el hecho la caída exponencial de la fuerza retentiva en función de la distancia, siendo este descenso más vertiginoso, cuanto mayor potencia inicial de retención exista.

El conocimiento de la relación fuerza de retención en función de la distancia es importante a la hora de aplicar fuerzas magnéticas en la retención de prótesis o en movimientos dentarios en ortodoncia ya que podemos variar el diseño del sistema imán-retenedor en función del grado de retención que deseamos obtener.

— **Propiedades retentivas permanentes de los sistemas magnéticos, versus retención decreciente de los sistemas mecánicos.**

Una de las propiedades más destacadas de los imanes de tierras raras es su elevada coercividad, es decir su capacidad para mantener indefinidamente sus características magnéticas, su resistencia a ser desmagnetizados, por lo que se les denomina imanes permanentes. Los sistemas mecánicos de retención de prótesis muestran una disminución de su capacidad retentiva con el uso. Highton y Jackson (20, 11) comparan las propiedades retentivas de varios sistemas mecánicos en relación a varios sistemas magnéticos, tanto las iniciales, como las existentes tras 44.000 y 25.000 ciclos de unión-separación. Todos los sistemas magnéticos mantienen intacta su capacidad retentiva, mientras que en los mecánicos, disminuyen en valores que oscilan desde un 30% hasta un 100%, perdiendo, algunos de ellos, toda capacidad retentiva. Esta propiedad es de indudable valor en la aplicación odontológica de los sistemas magnéticos, ya que aseguran una estable y permanente capacidad de retención.

— **Sistemas de fuerzas generadas en el complejo imán-retenedor:**

Los sistemas magnéticos presentan la capacidad de ejercer fuerzas de retención en un solo eje del espacio, el perpendicular a sus su-

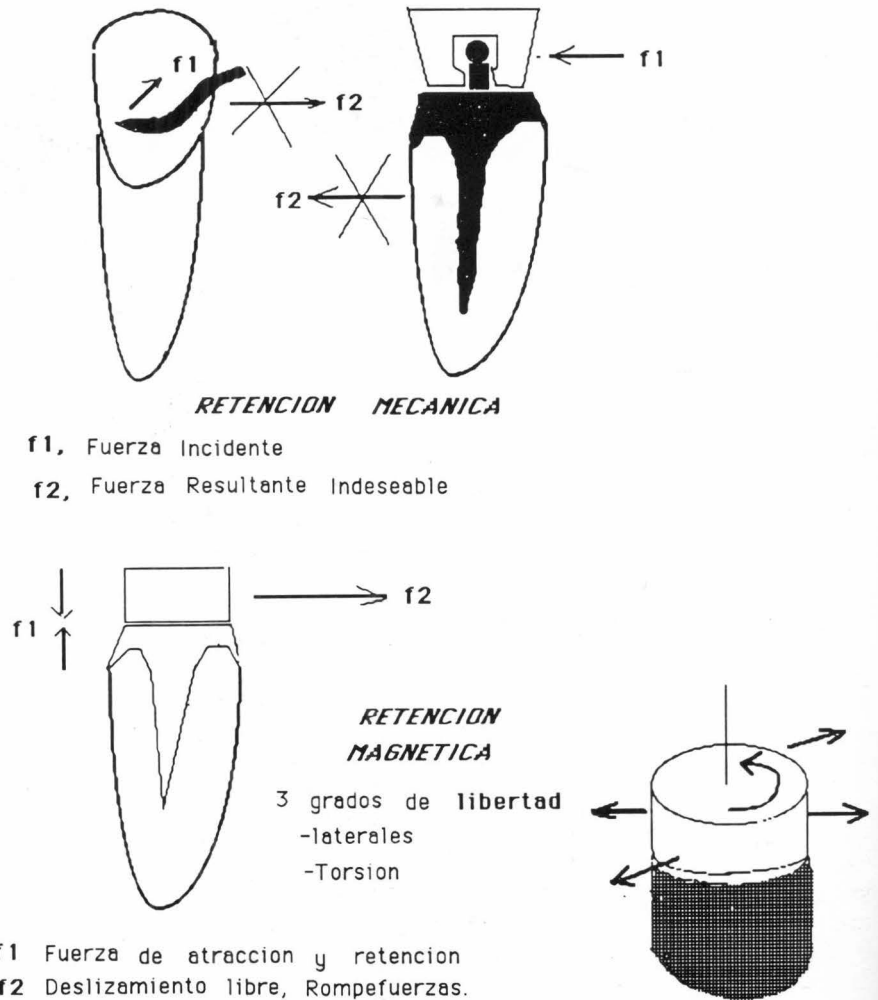


Fig. 9. Fuerzas generadas en los sistemas mecánicos y magnéticos.

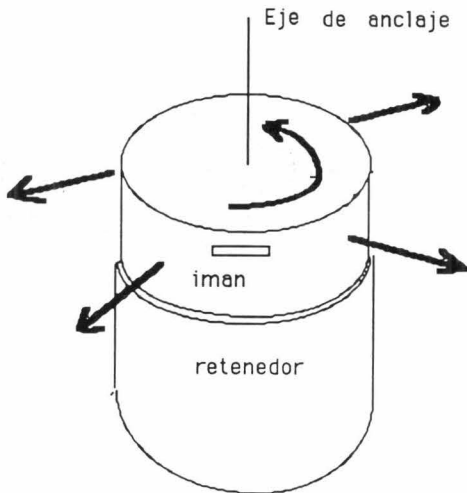
perficies de contacto y que denominaremos eje vertical, siendo mínimas o nulas las ejercidas en el resto de los planos. (Fig. 9).

Fuerzas ejercidas en el eje vertical: Se denomina fuerza de retención o agarre, y es la fuerza magnética ejercida por el imán sobre el retenedor. Como hemos visto es máxima con las superficies en contacto y va decreciendo a medida que aumenta la distancia, hasta la llamada distancia crítica, a partir de la cual ya no existe fuerza de atracción. La fuerza ejercida en la misma dirección, pero en sentido contrario sería fuerza de ruptura o de desalojo. Los sistemas magnéticos, al contrario que los mecánicos presentan la ventaja de que la fuerza de desalojo se ejerce de forma progresiva, de manera que

debe ser máxima en el inicio de la separación, pero va disminuyendo exponencialmente a medida que aumenta la distancia, hasta la distancia crítica en la que ya no es necesario ejercer ninguna fuerza. Los sistemas mecánicos por el contrario precisan de una fuerza puntual que será mayor o menor según el grado de retención, pero en todo caso brusca para conseguir el desalojo de ambas partes del sistema de retención.

Fuerzas en el plano horizontal (Fig. 10): Es en este tipo de fuerzas donde los sistemas magnéticos presentan indudables ventajas sobre los mecánicos.

Como es de todos conocido, el complejo periodontal de soporte dentario está bien preparado para resistir y compensar fuerzas



3 grados de libertad, deslizamiento lateral
y torsional

Fig. 10. Acciones de los sistemas magnéticos como anclajes y rompedores de fuerzas.

axiales, pero no tanto para las fuerzas ejercidas en sentido lateral y fuerzas de torsión.

— *Fuerzas laterales:* Los imanes se deslizan en todas direcciones en el plano horizontal sin ejercer fuerzas, es decir no se resisten a los movimientos laterales, por lo que el movimiento lateral de un imán, con respecto a un retenedor fijado a una pieza dentaria, no ejercería sobre ellas ninguna fuerza en esta dirección de movimiento.

— *Fuerzas de torsión:* Son las ejercidas en el plano horizontal y alrededor de un eje axial. Los sistemas magnéticos pueden rotar libremente sobre sus retenedores sin ejercer ninguna fuerza torsional.

Como afirma Gendusa (13) los sistemas magnéticos son «inherentemente rotos». Presentan 3 grados de libertad de movimiento en el espacio, sin ejercer ninguna fuerza. Esta sólo se produce en un eje, aquel que determina la fuerza de atracción entre imán y retenedor o fuerza de retención, que además como hemos visto anteriormente es progresiva y no brusca.

Estas características mecánicas de los sistemas magnéticos con fuerza progresiva ejercida en un solo eje y capacidad de disipar las fuerzas en el resto de los ejes es-

paciales son de indudable valor en cuanto a su aplicación al campo dental, ya que permiten una muy favorable distribución de fuerzas a las estructuras dentarias de soporte.

DISCUSION:

En la actualidad disponemos de varios sistemas magnéticos para uso odontológico, comercializados y avalados por amplios estudios clínicos y experimentales. La potencia de los imanes de tierras raras y su disposición en forma de montajes magnéticos cerrados los constituye en favorable alternativa a los sistemas mecánicos de retención de prótesis e incluso, como hemos visto en alternativa a dispositivos ortodónticos tradicionales.

Es preferible el uso de sistemas magnéticos cerrados a los abiertos, no sólo por su mayor potencia, sino también por el prácticamente inexistente flujo magnético externo hacia los tejidos orales circundantes. Esto que consideramos una ventaja, no debe ser tomado como una prevención, pues en otras áreas de la medicina se emplean con éxito los imanes abiertos. Así Pirnay (25) cita otros usos médicos de los mismos, como en oftalmología para implantes orbitarios, en otorrinolaringología, para

implantes cocleares e incluso en urología, donde se ha experimentado un dispositivo de cierre uretral magnético.

Dentro de los sistemas magnéticos cerrados dentales existe una amplia gama de potencias de retención y sistemática de uso. Algunos vienen diseñados para su colocación por el método directo en clínica, tanto del retenedor intraradicular, como el imán en la prótesis. Otros preconizan técnicas indirectas de muñones y cofias coladas en el laboratorio, pero ausentes de complejidad y efectuadas de forma semejante a otras rutinas de laboratorio.

Jackson (11) defiende la superficie hemisférica en el contacto imán-retenedor, para permitir una rotación de la prótesis durante la masticación sin que se altere el contacto entre ambos. Introduce en el retenedor un tetón de 0,5 mm, que actúa como tope oclusivo, para evitar los movimientos de deslizamiento lateral. Por el contrario una de las ventajas que presentan los sistemas imán-retenedor de superficie plana es la libertad de desplazamiento lateral sin sobrecarga de la pieza pilar. Si el imán se cementa en la prótesis en una posición de máxima intercuspidad se equipara a la resiliencia periodontal con la mucosa de forma que en los futuros movimientos masticatorios no se produzca desajuste entre el imán y el retenedor.

Otros sistemas como el SHINER, presentan el imán encapsulado de forma que la cápsula se fija a la prótesis y el imán en su interior presenta libertad de movimiento, con el fin de que los movimientos de la prótesis no despeguen la superficie plana imán-retenedor.

Quizás se precisen estudios fotoelásticos comparativos de los diversos sistemas que indiquen cual es el más ventajoso a la hora de aportar una adecuada retención con los mínimos efectos indeseables sobre los dientes pilares.

Varios de los sistemas cerrados actuales se comercializan en diferentes tamaños, lo que resulta ventajoso para su aplicación a piezas

dentarias de mayor o menor tamaño o a zonas intraorales con mayor o menor distancia interoclusal, o con diferentes requerimientos de retención.

A continuación exponemos las ventajas que de este estudio pueden deducirse en relación al uso odontológico de los imanes:

— El uso de sistemas magnéticos presenta de entrada las mismas ventajas que los mecánicos en cuanto a la conservación de la propiocepción, preservación del hueso alveolar y consolidación de piezas de pronóstico incierto, ya que la reducción de la corona clínica en los casos de sobredentaduras, ejerce un menor brazo de palanca sobre los dientes pilares.

— Los sistemas magnéticos presentan ventajas sobre los mecánicos en:

— Sus mejores propiedades mecánicas de fuerza de desinserción progresiva y no brusca.

— Sus menores fuerzas laterales y de torsión sobre las piezas pilares.

— Su permanencia indefinida como sistema de anclaje, en contra de la disminución progresiva de la retención en los mecánicos por desgaste.

— Su facilidad de realización tanto clínica como de laboratorio, por una menor necesidad de paralelismo de precisión.

— Su mayor facilidad para la inserción y desinserción de la prótesis, ya que el propio magnetismo dirige su colocación contrariamente a los mecánicos, en los que los pacientes ancianos o con poca precisión de movimientos encuentran dificultades.

— Los imanes como sistemas de anclaje resultan económicos y tanto los métodos directos como indirectos para su colocación son sencillos y fácilmente estandarizables en la clínica y en el laboratorio.

CONCLUSIONES

1) El desarrollo de imanes de tie-

rras raras, de Samario-Cobalto y más recientemente de Neodimio, que ofrecen un elevado producto energético en relación a un pequeño tamaño, ha renovado el interés del uso de sistemas magnéticos en odontostomatología.

2) La configuración de sistemas magnéticos con imanes blindados elimina el proceso de corrosión de los mismos y su diseño en forma de sistemas cerrados minimiza los riesgos potenciales de los campos magnéticos sobre los tejidos vivos.

3) Los imanes constituyen una óptima alternativa a los sistemas mecánicos en la retención de dentaduras, por sus características mecánicas de retención adecuada y permanente, fácilmente graduable, ejercidas en un solo eje y con capacidad de disipación de fuerzas indeseables laterales y torsionales.

4) Numerosos estudios clínicos corroboran el éxito de la aplicación de sistemas magnéticos en la retención de prótesis removibles y sobredentaduras tanto con pilares naturales, como implantados.

BIBLIOGRAFIA

1. FREEDMAN, H.: Magnets to stabilize dentures. *J. Am. Dent. Assoc.* 47:288, 1953.
2. BEHRMAN, S.J.: «The implantation of magnets in the jaw to aid denture retention». *J. Prosthet Dent.* 10:807, 1960.
3. BEHRMAN, S.J.: «Magnets implanted in the mandible: aid to denture retention». *J. Am. Dent. Assoc.* 68:206, 1964.
4. STEWART, B.L.; EDWARDS, R.O.: «Retention and wear of precision-type attachments». *J. Prosthet Dent.* 49:28, 1983.
5. BECKER, J.J.: «Permanent magnets». *Sci. Am.*, 223:92, 1970.
6. MOGHADAM, B.K.; SCANDRETT, F.R.: «Magnetic retention for overdentures». *J. Prosthet Dent.* 41:26, 1979.
7. KAWATA, T.; TAKEDA, S.: «A new orthodontic appliance by means of magnetic bracket». *J. Dent. Res.* 56 (Special Issue A): 189, (Abstr N°587), 1977.
8. KAWATA, T.: «Further study of new orthodontic treatment with a magnetic appliance». *J. Dent. Res.* 57 (Special Issue A): 175 (Abstr N°402), 1978.
9. PEZZOLI, M.; HIGHTON, R.; CAPUTO, A.; MATYAS, J.: «Magnetizable abutment for distal-extension removable partial dentures». *J. Prosthet. Dent.* 55, 4:475, 1986.
10. PEZZOLI, M.; HIGHTON, R.; CAPUTO, A.; MATYAS, J.: «Retention magnets in guiding plates of distal-extension removable partial dentures». *J. Prosthet. Dent.* 60, 5:557, 1988.
11. JACKSON, T.R.; HEALEY, K.W.: «Anclajes magnéticos de tierras raras: su aplicación actual en prótesis removibles». *Quintessence (Ed. Esp.)* 1, 1:15, 1988.
12. LEWANDOSKI, J.A.; WHITE, K.C.; MOORE, D.; JOHNSON, C.: «An investigation of two rare earth magnetic systems by measuring grip force and reseating force. *J. Prosthet. Dent.* 60. 6:705, 1988.
13. GENDUSA, N.J.: «Sobredentaduras con retención magnética». *Quintessence (Ed. Esp.)* 2, 2:37, 1989.
14. MAROSO, D.J.; TISCHLER, P.; SCHMIDT, J.R.: «A simplified technique for magnetic retention of overdentures». *J. Dent. Res.* 59 (Special issue): 90, 1980.
16. GILLINS, B.: «Magnetic retention for complete and partial overdentures, Part 1». *J. Prosthet. Dent.* 45:484, 1981.
17. GASCON, F.; MÜLLER, T.H.; ALIAGA, E.; BADAL, R.; SANCHEZ, M.; ALONSO, J.; GARCÍA, E.: «Prótesis mixtas retenidas con anclajes magnéticos: estado actual». *Acta Estomatológica Valenciana* 3, 73, 1988.
18. AMPIL, J.P.; WEGMANN, C.S.; GAMBRELL, K.: «Use of magnets for staple mandibular implants». *J. Prosthet. Dent.* 55, 3:367, 1986.
19. CARLYLE, L.W.; DUNCAN, J.M.; RICHARDSON, J.T.; GARCÍA, L.: «Magnetically retained implant denture». *J. Prosthet. Dent.* 56, 5:583, 1986.
20. HIGHTON, R.; CAPUTO, A.A.; PEZZOLI, M.; MATYAS, J.: «Retentive characteristics of different magnetic systems for dental applications». *J. Prosthet. Dent.* 56, 1:104, 1986.
21. KAIRA, V.; BURSTONE, C.J.; NANDA, R.: «Effects of fixed magnetic appliance on the dentofacial complex». *Am. J. Orthod. Ortho* 95: 467, 1989.
22. WOODS, M.G.; NANDA, R.S.: «Intrusion of posterior teeth with magnets. An experiment in growing baboons». *Angle Orthod.* 58: 150, 1988.
23. VARDIMON, A.D.; STUTZMANN, J.J.; GRABER, T.M.; VOSS, L.R.; PETROVIC, A.G.: «Functional orthopedic magnetic appliance (FOMA) II—Modus operandi». *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 95:371, 1989.
24. CERNY, R.: «The reaction of dental tissues to magnetic fields». *Aust. Dent.*, 25:264, 1980.
25. PIRNAY, L.: «Les nouveaux aimants en prothèse dentaire». *Les Cahiers de Protèse* 65 Mars, 63, 1989.