

CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL Y
MECÁNICA DE MATERIALES EN BASE A
CERÁMICA ELABORADOS POR LA
TECNOLOGÍA CAD-CAM PARA SU
UTILIZACIÓN EN PRÓTESIS ODONTOLÓGICA

JUAN CADAVALCH CABANÍ

Barcelona, Septiembre 2003

UNIVERSIDAD DE BARCELONA
DIVISIÓ DE CIENCIAS DE LA SALUD

Departamento de Odontoestomatología

Programa: “Técnicas clínicas en Odontoestomatología”.

**CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL Y
MECÁNICA DE MATERIALES EN BASE A CERÁMICA
ELABORADOS POR LA TECNOLOGÍA CAD-CAM PARA
SU UTILIZACIÓN EN PRÓTESIS ODONTOLÓGICA**

TESIS DOCTORAL

Presentada para optar al *TÍTULO DE DOCTOR* en *MEDICINA Y CIRUGÍA* por:

JUAN CADA FALCH CABANÍ

Licenciado en Medicina y Cirugía

Médico Especialista en Estomatología

DIRECTORES:

Prof. Dr. DANIEL LLOMBART JAQUES

Prof. Dr. JAVIER GIL MUR

-Barcelona, Septiembre de 2003-

A mis padres Montse y Eduardo.

A mi esposa Inmaculada.

A mis hijos Inmaculada, Elena,
Montse y Juan.

Agradecimientos

AGRADECIMIENTOS

A mis directores de tesis, el Profesor Dr. DANIEL LLOMBART JAQUES, Profesor Titular de Prótesis y Oclusión de la Facultad de Odontología de la Universidad de Barcelona, y al Profesor Dr. JAVIER GIL MUR, Catedrático del “*Departament de Ciència dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica, de la Universitat Politècnica de Catalunya*” (en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona), por su gran ayuda y colaboración en la dirección, supervisión y corrección de esta Tesis.

Al Profesor Dr. EDUARDO CADAFALCH GABRIEL, Catedrático de la Universidad de Barcelona, por su constante estímulo y enseñanzas en lo profesional y en lo humano.

Al Profesor Dr. JOSÉ JAVIER ECHEVERRÍA GARCIA, Catedrático de Periodoncia y Profesor encargado de la asignatura de Odontología Integrada de Adultos de la Facultad de Odontología de la Universidad de Barcelona, por su constante apoyo.

A los Profesores Dr. NICOLAS JEDYNAKIEWICZ y Dr. NICOLAS MARTIN de la Academic Unit of Dental Bioengineering (Liverpool University Dental Hospital) de la Universidad de Liverpool, por su amistad y todas sus enseñanzas sobre el sistema CEREC.

Al Sr. ALBERT PUJOL I TARRATS, “Mestre Queixaler” y artista de la Prótesis, por la elaboración desinteresada de todas las coronas y procedimientos de laboratorio que han sido necesarios para este trabajo.

Al Profesor Don JUAN ANTONIO PALLERO GARCIA, que fuera profesor en mi infancia, adolescencia y juventud, y me inició en las asignaturas de Lengua y Latín, por la corrección gramatical del texto.

A la Sra. Doña INMACULADA CERDÁ ESTEVE y a Mr. MICHAEL SHANAHAN QUINN, por su ayuda en la traducción de artículos.

Al Sr. Don ABEL CRESPO SÁNCHEZ y al Dr. DANIEL RODRÍGUEZ RIUS, por su colaboración en los ensayos mecánicos, y al Dr. CONRADO APARICIO BÁDENAS, por la ayuda en los estudios estadísticos, todos ellos del Grupo de Investigación de Biomecánica y Biomateriales del Departamento de *“Ciència dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica, de la Universitat Politècnica de Catalunya”*.

A la Sra. Doña MONTSERRAT MARSAL ASTORT, responsable del microscopio electrónico del Departamento de *“Ciència dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica, de la Universitat Politècnica de Catalunya”*, por su ayuda y colaboración en la obtención de las imágenes de microscopía electrónica.

Al Sr. Don AURELIO LÓPEZ MUÑOZ, Asesor Técnico de 3M-Espe España, por su colaboración, interés y ayuda aportando a nuestro estudio el material EXM 260 y datos técnicos del mismo.

A la Sra. Doña CARMEN LLIMARGAS CODINA, Jefe de Área/Clínica de Ivoclar-Vivadent, por la aportación de información de los productos Ivoclar utilizados en este estudio.

A la Sra. Doña CARMEN REDECKER, de Vita-Zahnfabrik, por la aportación de información de los productos Vita que se han utilizado en este estudio.

Al Sr. Don JOSÉ MANUEL ÁLVAREZ PAZOS, por su ayuda y apoyo cuando el sistema CEREC quedó huérfano en España.

Y a todos aquellos que de una forma u otra me han ayudado, animado y estimulado a realizar este trabajo y llevarlo a buen término.

Índice

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1. JUSTIFICACIÓN | 1 |
| 2. INTRODUCCIÓN..... | 4 |
| 2.1. TERMINOLOGÍA | 5 |
| 2.2. HISTORIA DE LA CERÁMICA | 6 |
| 2.3. COMPOSICIÓN DE LA CERÁMICA | 10 |
| 2.3.1. Feldespatos | 10 |
| 2.3.2. Sílice | 11 |
| 2.3.3. Caolín | 12 |
| 2.3.4. Pigmentos | 12 |
| 2.4. CLASIFICACIÓN DE LA CERÁMICA..... | 13 |
| 2.4.1. Clasificación en función de la temperatura de fusión-cocción | 13 |
| 2.4.1.1. Cerámicas de ALTA FUSIÓN (1280-1390 °C) | 13 |
| 2.4.1.2. Cerámicas de MEDIA FUSIÓN (1090-1260 °C)..... | 13 |
| 2.4.1.3. Cerámicas de BAJA FUSIÓN (870-1065 °C)..... | 13 |
| 2.4.1.4. Cerámicas de MUY BAJA FUSIÓN (660-780 °C)..... | 14 |
| 2.4.1.5. Cerámicas a TEMPERATURA AMBIENTE | 14 |
| 2.4.2. Clasificación según la naturaleza química del material | 14 |
| 2.4.2.1. Cerámicas FELDESPÁTICAS | 14 |
| 2.4.2.1.1. La cerámica feldespática CLÁSICA | 14 |
| 2.4.2.1.2. La cerámica feldespática de alto contenido en LEUCITA | 14 |
| 2.4.2.2. Cerámicas ALUMINOSAS | 14 |
| 2.4.2.2.1. Cerámicas con un 40% de aluminio | 15 |
| 2.4.2.2.2. Cerámicas con un 65% de aluminio | 15 |
| 2.4.2.2.3. Cerámicas con un 85% de aluminio | 15 |

| | |
|---|-----------|
| 2.4.2.3.VITROCERÁMICAS..... | 15 |
| 2.4.2.3.1.Apatita..... | 15 |
| 2.4.2.3.2.Micatetrafluorurosilicato | 15 |
| 2.4.3.Clasificación por el sistema de procesado o técnica de aplicación de la cerámica | 15 |
| 2.4.3.1.Con soporte metálico | 15 |
| 2.4.3.1.1.Hoja de platino u oro | 15 |
| 2.4.3.1.2.Fabricadas | 15 |
| 2.4.3.1.3.Electrodeposición | 15 |
| 2.4.3.1.4.Cocida | 15 |
| 2.4.3.2.Sin soporte metálico | 16 |
| 2.4.3.2.1.Sobre revestimiento | 16 |
| 2.4.3.2.2.Colada y vitrocerámica..... | 16 |
| 2.4.3.2.3.Fabricada..... | 16 |
| 2.4.3.2.4.Inyectada..... | 16 |
| 2.4.3.2.5.Barbotina..... | 16 |
| 2.5.ELABORACIÓN DE LA CERÁMICA EN EL LABORATORIO .. | 16 |
| 2.6.CAD-CAM | 17 |
| 2.6.1.Introducción al CAD-CAM | 17 |
| 2.6.1.1.El ordenador | 19 |
| 2.6.1.2.El transistor..... | 19 |
| 2.6.1.3.Gráficos interactivos por ordenador | 20 |
| 2.6.1.4.Tecnologías CAM..... | 20 |
| 2.6.1.5.Lenguajes para CAM..... | 21 |
| 2.6.1.6.Compatibilidad | 21 |
| 2.6.1.7.Robótica..... | 22 |
| 2.6.1.7.1.El robot | 22 |
| 2.6.1.7.2.Componentes de un robot..... | 23 |
| 2.6.1.7.3.Características físicas..... | 24 |

| | |
|--|-----------|
| 2.6.1.8. Características del CAD-CAM..... | 25 |
| 2.6.1.9. La estación gráfica..... | 25 |
| 2.6.1.10. Periféricos..... | 26 |
| 2.6.1.11. Terminales..... | 26 |
| 2.6.1.12. Base de datos común..... | 26 |
| 2.6.1.13. Transmisión de datos..... | 26 |
| 2.6.1.14. Tecnología de grupo..... | 27 |
| 2.6.1.15. Software..... | 27 |
| 2.6.1.16. Adam y AD 2000..... | 28 |
| 2.6.1.17. Control numérico..... | 28 |
| 2.6.1.18. Fabricación flexible..... | 29 |
| 2.6.1.19. Ventaja de la fabricación flexible..... | 29 |
| 2.6.1.20. Factores de decisión..... | 30 |
| 2.6.2. Aplicación del CAD-CAM en Odontología..... | 31 |
| 2.6.3. Sistemas de CAD-CAM en Odontología..... | 32 |
| 2.6.3.1. El método holográfico..... | 32 |
| 2.6.3.2. Máquinas de control numérico para el control de la fabricación de anclajes..... | 32 |
| 2.6.3.3. El sistema CELAY..... | 33 |
| 2.6.3.4. El sistema de copia y tallado CERAMATIC..... | 35 |
| 2.6.3.5. El sistema DURET (HENNISON/SOPHA)..... | 35 |
| 2.6.3.6. El sistema MINNESOTA (DentiCAD®)..... | 37 |
| 2.6.3.7. El sistema PROCERA..... | 41 |
| 2.6.3.8. El sistema CICERO..... | 46 |
| 2.6.3.9. El sistema D.C.S.-Titan. Precident D.C.S.. Sistema DUX..... | 52 |
| 2.6.3.10. El sistema MICRODENTA ¡Error! Marcador no definido. | 5 |
| 2.6.3.11. El sistema de Prótesis asistida por ordenador (<i>Computer - Aided Prosthetic System o CAP</i>)..... | 55 |
| 2.6.3.12. El sistema de la Universidad de Showa/Nissan CAD/CAM | 55 |

| | |
|---|-----|
| 2.6.3.13.Nuevos sistemas | 56 |
| 2.7.EL SISTEMA CEREC | 56 |
| 2.7.1.Fases en el desarrollo del sistema CEREC..... | 56 |
| 2.7.2.Elementos básicos del CAD/CIM CEREC..... | 62 |
| 2.7.2.1.Estación de trabajo móvil individual..... | 62 |
| 2.7.2.2.La inteligencia del dentista y el poder de la máquina | 62 |
| 2.7.2.3.La impresión óptica | 63 |
| 2.7.2.4.Triangulación activa..... | 64 |
| 2.7.2.5.Proyección de un punto y una línea focal..... | 64 |
| 2.7.2.6.Proyectando un surtido de líneas..... | 66 |
| 2.7.2.7.Adquisición de datos | 67 |
| 2.7.2.8.Cálculo de la altura desde la fase de desplazamiento..... | 68 |
| 2.7.2.9.Una secuencia de cuatro imágenes..... | 69 |
| 2.7.2.10.El método de búsqueda..... | 71 |
| 2.7.2.11.La necesidad de empolvar | 72 |
| 2.7.2.12.La cámara tridimensional del CEREC 1 | 72 |
| 2.7.2.13.La cámara tridimensional del CEREC 2 | 74 |
| 2.7.2.14.Características fundamentales de la imagen tridimensional del CEREC..... | 74 |
| 2.7.2.15.Diseño del fondo cavitario desde una vista superior..... | 77 |
| 2.7.2.16.La estructura básica de diseño..... | 788 |
| 2.7.2.17.El proceso de tallado: mecanización de la cerámica..... | 82 |
| 3.HIPÓTESIS Y OBJETIVOS | 83 |
| 3.1.HIPÓTESIS | 84 |
| 3.2.OBJETIVOS..... | 84 |
| 3.2.1.Objetivos generales..... | 84 |
| 3.2.2.Objetivos parciales | 84 |
| 4.MATERIAL Y MÉTODOS | 85 |
| 4.1.MATERIAL | 86 |

| | |
|--|-----|
| 4.1.1. Máquina CEREC-2 | 86 |
| 4.1.2. Software | 86 |
| 4.1.3. CEREC® 2 VITABLOCKS® MARK II | 88 |
| 4.1.4. CEREC® 2 VITABLOCKS® SPINELL | 89 |
| 4.1.5. ProCAD® | 91 |
| 4.1.6. Solución de ácido fluorhídrico al 5% | 92 |
| 4.1.7. Pulido de las coronas | 92 |
| 4.1.7.1. Fresas de diamante Komet® | 93 |
| 4.1.7.2. Discos de pulir Sof-Lex® | 93 |
| 4.1.7.3. Copas de pulir cerámica Shofu® | 93 |
| 4.1.7.4. Juego para pulir de diamante Karat VITA® | 93 |
| 4.1.7.5. Paste Shiny C-Enamel Plus Shiny® | 94 |
| 4.1.8. Glaseado | 94 |
| 4.1.8.1. VITA Shading paste® | 94 |
| 4.1.8.2. ProCAD Shade/Stains Kit® | 96 |
| 4.1.9. Cerámica VITADUR® ALPHA | 97 |
| 4.1.10. Cerámica OPTEC-HSP | 98 |
| 4.1.11. Cerámica IPS d.SIGN® | 100 |
| 4.1.12. Porcelana Jacket Vivodent-PE | 102 |
| 4.1.13. 3M™ Polymer Ceramic Block (EXM 260) | 103 |
| 4.1.14. Horno de cerámica PROGRAMAT P90® | 107 |
| 4.2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL | 107 |
| 4.2.1. Diseño y fabricación con el CEREC 2 de la corona incisal utilizada en este estudio | 107 |
| 4.2.2. Preparación de las coronas realizadas con Vitablocs® Mark II | 110 |
| 4.2.3. Preparación de las coronas realizadas con ProCAD® | 111 |
| 4.2.4. Preparación de las coronas realizadas con Cerámica convencional | 114 |

| | |
|--|------------|
| 4.2.4.1.Grupo C1: Corona cerámica In-Ceram con núcleo de Spinell (Vitablocs® Spinell) tallado con el CEREC | 114 |
| 4.2.4.2.Grupo C2: Corona cerámica convencional OPTEC-hsp..... | 118 |
| 4.2.4.3.Grupo C3: Corona Jacket Vivodent-PE | 118 |
| 4.2.4.4.Grupo C4: Corona de cerámica IPS d-SIGN..... | 118 |
| 4.2.5.Preparación de las coronas realizadas con 3M™ Block EXM 260 | 118 |
| 4.2.6.Métodos de ensayo empleados..... | 119 |
| 4.2.6.1.Ensayo mecánico de compresión..... | 119 |
| 4.2.6.2.Ensayo de dureza | 122 |
| 4.2.6.3.Determinación de la rugosidad | 122 |
| 4.2.6.4.Ensayo de desgaste abrasivo | 124 |
| 4.2.6.5.Microscopía electrónica de barrido | 124 |
| 4.2.6.6.Microanálisis de Energía Dispersiva de Rayos X | 126 |
| 4.2.6.7.Procedimiento estadístico | 127 |
| 5.RESULTADOS..... | 128 |
| 5.1.RESULTADOS DE LOS MATERIALES CERÁMICOS | 129 |
| 5.1.1.Carga compresiva a rotura..... | 129 |
| 5.1.2.Elasticidad | 131 |
| 5.1.3.Dureza..... | 132 |
| 5.1.4.Rugosidad..... | 133 |
| 5.1.5.Desgaste | 135 |
| 5.1.6.Observación en microscopía electrónica..... | 137 |
| 5.1.7.Microanálisis de Energía Dispersiva de Rayos X..... | 155 |
| 5.2.RESULTADOS DEL MATERIAL 3M™ Block EXM 260 | 158 |
| 5.2.1.Carga compresiva a rotura..... | 158 |
| 5.2.2.Elasticidad | 159 |
| 5.2.3.Dureza..... | 160 |
| 5.2.4.Rugosidad..... | 161 |

| | |
|--|-----|
| 5.2.5. Desgaste | 161 |
| 5.2.6. Observación en microscopía electrónica | 163 |
| 5.2.7. Microanálisis de Energía Dispersiva de Rayos X | 171 |
| 6. DISCUSIÓN | 173 |
| 6.1. EN LA LITERATURA | 174 |
| 6.1.1. Métodos químicos | 175 |
| 6.1.2. Métodos físicos-mecánicos | 179 |
| 6.2. CARGA COMPRESIVA A ROTURA | 183 |
| 6.3. ELASTICIDAD | 184 |
| 6.4. DUREZA | 184 |
| 6.5. RUGOSIDAD | 185 |
| 6.6. DESGASTE | 185 |
| 6.7. DISCUSIÓN DE LAS MICROGRAFÍAS | 186 |
| 7. CONCLUSIONES | 190 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA | 192 |
| 9. ANEXO | 202 |
| 9.1. ENSAYOS DE COMPRESIÓN | 204 |
| 9.1.1. Cerámica Vitablocks® Mark II | 205 |
| 9.1.2. Cerámica ProCAD® | 211 |
| 9.1.3. Cerámica convencional | 218 |
| 9.1.4. 3M™ Block EXM 260 | 222 |
| 9.2. ESTADÍSTICA | 234 |
| 9.2.1. Análisis de Varianza | 235 |
| 9.2.2. Estudio estadístico entre los grupos A, B, y C | 238 |
| 9.2.2.1. Carga compresiva a rotura | 239 |
| 9.2.2.2. Elasticidad | 240 |
| 9.2.2.3. Dureza | 241 |
| 9.2.2.4. Rugosidad | 243 |
| 9.2.2.5. Desgaste | 244 |

| | |
|---|-----|
| 9.2.3. Estudio estadístico entre los grupos A, B y D | 246 |
| 9.2.3.1. Carga compresiva a rotura..... | 247 |
| 9.2.3.2. Elasticidad | 249 |
| 9.2.3.3. Dureza..... | 251 |
| 9.2.3.4. Rugosidad | 253 |
| 9.2.3.5. Desgaste..... | 255 |