

Estabilidad del color de las cerámicas de disilicato de litio.

Rosario Cedeño Salazar

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



TESIS DOCTORAL

**ESTABILIDAD DEL COLOR DE LAS
CERÁMICAS DE DISILICATO DE LITIO.**

Rosario Cedeño Salazar.

DIRECTOR:

Dr. Oscar Figueras Álvarez.

CO-DIRECTOR:

Dr. Jordi Cano Batalla.

Barcelona, Octubre 2015.

A mis padres, Froilán y Nélica.

A mi Tita.

A Juan y Sofía.

AGRADECIMIENTOS

A mi director, Dr. Oscar Figueras Álvarez, por su diligente dirección, por el respeto a mis ideas y por confiar en mi trabajo, desde que llegué a esta facultad.

A mi codirector, Dr. Jordi Cano Batalla, gran profesional y mejor persona, por su orientación y guía, en la realización de este trabajo.

A mis compañeros de Prótesis, crecer profesionalmente a vuestro lado ha sido un privilegio.

A María Arregui, compañera y amiga, por tirar de mí cuando fue necesario, por su constante ayuda, motivación y apoyo. Gracias por siempre, Marieta.

A mi familia, por todo el amor que he recibido, por creer en mí, sois el mejor regalo que a vida me ha dado.

A mis amigos, personas maravillosas que me han acompañado día a día en este camino.

A mis compañeros de trabajo que han “sufrido” mis idas y venidas.

A todos, mil gracias.

ÍNDICE

1. JUSTIFICACIÓN.....	17
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	21
2.1. Cerámicas dentales.....	23
2.1.1. Cerámicas vítreas.....	25
2.1.1.1. Feldespáticas.....	26
2.1.1.2. Reforzadas.	27
2.1.1.2.1. Disilicato de Litio.....	28
2.1.2. Cerámicas cristalinas.....	30
2.1.2.1. Alumina.....	30
2.1.2.2. Zirconio.....	31
2.1.3. Nuevos materiales cerámicos.....	32
2.1.3.1. Cerámicas de zirconio a base de disilicato.....	32
2.1.3.2. Composites interpenetrados.....	33
2.2. Pulido de las restauraciones dentales.....	34
2.2.1.1. Sistemas de pulido.....	35
2.3. Rugosidad.....	36
2.3.1. Medición de la rugosidad.....	38
2.3.1.1. Microscopía láser confocal.....	40
2.3.1.2. Parámetros de medición.....	46
2.3.1.3. Microscopía electrónica de barrido (MEB).....	51
2.3.1.3.1. Funcionamiento del MEB.....	51
2.3.1.3.2. Preparación de las muestras.....	53
2.4. Color.	54
2.4.1. Escalas y sistemas de medición.	54
2.4.1.1. Escala de Munsell.	55
2.4.1.2. Comisión Internacional de L'éclairage (CIE Lab).....	56
2.4.1.3. CIEDE 2000.....	57
2.4.2. Medición del color.	58
2.4.2.1. Guías de color.....	58
2.4.2.2. Espectrofotómetros.....	59
2.4.2.3. Colorímetros.....	60
3. HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	63
3.1. Hipótesis nula.....	63
3.2. Hipótesis alternativa.....	63
4. OBJETIVOS.....	69
4.1. Objetivo principal.....	69
4.2. Objetivos secundarios.....	69
5. MATERIAL Y MÉTODOS.....	71
5.1. Tamaño y preparación de las muestras.....	73

5.2. Tratamiento de superficies.....	76
5.3. Determinación de la rugosidad superficial.....	80
5.3.1. Microscopía confocal.....	80
5.3.2. Microscopía electrónica de Barrido.....	81
5.4. Toma del color.....	83
5.5. Análisis estadístico.....	87
6. RESULTADOS	89
6.1. Análisis de los parámetros volumétricos del estudio de la superficie.....	91
6.1.1.1. Parámetros medidos a una magnificación de 10X.....	91
6.1.1.2. Parámetro de rugosidad media (Sa).....	92
6.1.1.3. Parámetro de rugosidad media cuadrática (Sq).....	93
6.1.1.4. Parámetro de altura máxima de la superficie (Sz).....	94
6.1.1.5. Parámetro Skewness (Ssk).....	95
6.1.1.6. Parámetro Curtosis (Sku).....	96
6.1.1.7. Parámetro altura máxima del pico (Sp).....	97
6.1.1.8. Parámetro del valor máximo de profundidad del valle. (Sv).....	98
6.1.2. Parámetros medidos a una magnificación de 50X.....	99
6.1.2. 1. Parámetro de rugosidad media (Sa).....	100
6.1.2. 2. Parámetro de rugosidad media cuadrática (Sq).....	101
6.1.2. 3. Parámetro de altura máxima de la superficie (Sz).....	102
6.1.2. 4. Parámetro Skewness (Ssk).....	103
6.1.2. 5. Parámetro Curtosis (Sku).....	103
6.1.2. 6. Parámetro altura máxima del pico (Sp).....	104
6.1.2.7. Parámetro del valor máximo de profundidad del valle. (Sv).....	105
6.2. Análisis de imágenes obtenidas con el microscopio electrónico de barrido (MEB) y con el microscopio confocal.....	107
6.2.1 Grupo 1. Glaseadas (glazed) (G).....	107
6.2.2. Grupo 2: Reglaseadas (reglazed) (RG).....	108
6.2. 3 Grupo 3: Discos (Discos) (D).....	109
6.2.4 Grupo 4: Piedras (Stones) (ST)	110
6.2.5 Grupo 5: Sistema de Pulido diamantado. (Diamond polishing system) (DPS).....	111
6.2.6 Grupo 6 Cepillos. (Brushes) (B).....	112
6.3. Análisis de la estabilidad del color.....	113

6.3.1	Análisis de DeltaE (ΔE) por tratamiento superficie.....	113
6.3.2	Análisis de DeltaE (ΔE) por sustancia pigmentante.....	114
6.3.3	Análisis de DeltaE (ΔE) por tiempo.....	115
6.3.4	Interacción de los grupos.....	115
7.	Discusión.....	119
7.1	Discusión de la metodología.....	121
7.1.1	Discusión sobre el material y método utilizado.....	121
7.1.2	Discusión de los métodos de pulido.....	122
7.1.3	Discusión sobre métodos para análisis de la superficie de la cerámica.....	123
7.1.4	Discusión sobre instrumentos para medir el color.....	126
7.2	Discusión de los resultados.....	128
7.2.1	Discusión resultados rugosidad.....	128
7.2.2	Discusión resultados color.....	132
8.	Conclusiones.....	135
9.	Perspectivas de futuro.....	139
10.	Referencias bibliográficas.....	143
11.	Resumen.....	155
12.	Anexos.....	159

Índice de Figuras

Figura 1. Detalles topográficos de una superficie.

Figura 2. Métodos de medición del acabado superficial según UNE-EN ISO 25178-6:2010.

Figura 3. Esquema de funcionamiento de un microscopio confocal.

Figura 4. Iluminación del microscopio confocal.

Figura 5. Medición de la rugosidad.

Figura 6. Parámetro Ra.

Fórmula 7.a y Figura 7.b. Medición del Ra.

Figura 8. Dos superficies diferentes, con el mismo valor Ra.

Fig.9. Espacio del color según la Escala de Munsell.

Fig.10. Espacio del color según la Escala CIELab.

Fig.11. Guía de color3D Master.

Fig.12. Espectrofotómetro.

Fig.13. Colorímetro.

Figura 14. Bloque de Disilicato de Litio, parcialmente cristalizado.

Figuras 15a y 15b máquina de corte de precisión Isomet® 1000.

Figura16. Muestras dentro del Horno Programat®.

Figura. 17. Shofu Dura-Green Stones.

Figura 18. OptraFine, Ivoclar Vivadent.

Figura 19. Hawe Occlubrush.

Figura 20. Microscopio confocal Leica DCM3D.

Figura 21. Microscopio electrónico de barrido Quanta 200, FEI Co.

Figura 22. Muestras preparadas para ser analizadas en el SEM.

Figura 23. Vita Easy Shade® Compact.

Figura 24. Valores de una medición hecha según el espacio CIE Lab.

Figura 25. Calibración de espectrofotómetro.

Figura 26. Placas de cultivo que almacenaron las muestras.

Figura 26. Vasos y jeringas para el cambio de sustancias pigmentantes.

Figura 28. Placas de cultivo dentro de la incubadora.

Figura 29. Imágenes MEB grupo 1.

Figura 30. Imágenes confocal grupo 1.

Figura 31. Imágenes MEB grupo 2.

Figura 32. Imágenes confocal grupo.

Figura 33. Imágenes MEB grupo 3.

Figura 34. Imágenes confocal grupo 3.

Figura 35. Imágenes MEB grupo 4.

Figura 36. Imágenes confocal grupo 4.

Figura 37. Imágenes MEB grupo 5.

Figura 38. Imágenes confocal grupo 5.

Figura 39. Imágenes MEB grupo 6.

Figura 40. Imágenes confocal grupo 6.

ÍNDICE DE TABLAS.

Índice de Tablas.

Tabla 1. Técnicas de microscopía óptica avanzada.

Tabla 2. Especificaciones del LEICA DCM3D.

Tabla 3. Especificaciones del LEICA DCM3D, en modo confocal.

Tabla 4. Normativa ISO relativa a la caracterización tridimensional del acabado superficial.

Tabla 5. Parámetros 3D de amplitud.

Tabla 6. Distribución de los grupos experimentales.

Tabla 7. Sistema de Pulido SOF LEX Discs- 3M ESPE.

Tabla 8. Sustancias Pigmentantes.

Tabla 9 Estadística descriptiva de la rugosidad media a 10X.

Tabla 10. p valor de la rugosidad media a 10X.

Tabla 11. Valores de Sa por tratamiento de superficie.

Tabla 12.X Estadística descriptiva de la rugosidad media cuadrática a 10X.

Tabla 13. p valor de la rugosidad media cuadrática a 10X.

Tabla 14. Valores de Sq por tratamiento de superficie.

Tabla 15. Estadística descriptiva de la altura máxima de superficie a 10X.

Tabla 16. p valor de la altura máxima de superficie a 10X.

Tabla 17. Valores de Sz por tratamiento de superficie.

Tabla 18. Estadística descriptiva del Skewness a 10X.

Tabla 19. p valor del Skewness a 10X.

Tabla 20. Valores de Ssk por tratamiento de superficie.

Tabla 21. Estadística descriptiva de la curtosis a 10X.

Tabla 22. p valor de la curtosis a 10X.

Tabla 23. Valores de S_{ku} por tratamiento de superficie.

Tabla 24 Estadística descriptiva de la altura máxima del pico a 10X.

Tabla 25. p valor de la altura máxima del pico a 10X.

Tabla 26. Valores de S_p por tratamiento de superficie.

Tabla 27. Estadística descriptiva del valor máximo de la profundidad del valle a 10X.

Tabla 28. p valor del valor máximo de la profundidad del valle a 10X.

Tabla 29. Valores de S_v por tratamiento de superficie.

Tabla 30. Relación de los tratamientos de superficie y los parámetros volumétricos a 50X.

Tabla 31 Estadística descriptiva de la rugosidad media a 50X.

Tabla 32. p valor de la rugosidad media a 50X.

Tabla 33. Valores de S_a por tratamiento de superficie.

Tabla 34. Estadística descriptiva de la rugosidad media cuadrática a 50X.

Tabla 35. p valor de la rugosidad media cuadrática a 50X.

Tabla 36. Valores de S_q por tratamiento de superficie.

Tabla 37. Estadística descriptiva de la altura máxima de superficie a 50X.

Tabla 38. p valor de la altura máxima de superficie a 50X.

Tabla 39. Valores de S_z por tratamiento de superficie.

Tabla 40. Estadística descriptiva del Skewness a 50X.

Tabla 41. p valor del Skewness a 50X

Tabla 42. Estadística descriptiva de la Curtosis a 50X.

Tabla 43. p valor de la Curtosis a 50X.

Tabla 44. Valores de S_{ku} por tratamiento de superficie.

Tabla 45 Estadística descriptiva de la altura máxima del pico a 50X.

Tabla 46. p valor de la altura máxima del pico a 50X.

Tabla 47. Valores de Sp por tratamiento de superficie.

Tabla 48. Estadística descriptiva del valor máximo de profundidad del valle.

Tabla 49. p valor del valor máximo de profundidad del valle.

Tabla 50. Valores de Sv por tratamiento de superficie.

Tabla 51. Estadística descriptiva del ΔE en los tratamientos de superficie.

Tabla 52. p valor del ΔE en los tratamientos de superficie

Tabla 53. Valores según tratamiento de superficie.

Tabla 54. Estadística descriptiva del ΔE en las sustancias pigmentantes.

Tabla 55. p valor del ΔE en las sustancias pigmentantes.

Tabla 56. Valores según sustancia pigmentante.

Tabla 57. Estadística descriptiva del ΔE en tiempo.

Tabla 58. p valor del ΔE en tiempo.

Tabla 59. Valores según el tiempo.

Tabla 60. Valores de interacción de todos los grupos.

Figura 61. Interacción tratamiento de superficie sustancia pigmentante.

Figura 62. Interacción tratamiento de superficie/tiempo.

Figura 63. Interacción sustancia pigmentante/tiempo.

1.-Justificación

Con el paso de los años, la demanda de tratamientos estéticos ha ido en aumento en las clínicas dentales. Los pacientes consultan a los odontólogos pidiendo tratamientos que mejoren su estética dental.

Para que esta estética se logre, se necesita que el material restaurador tenga a corto y largo plazo adecuadas propiedades de fluorescencia, opalescencia y translucidez. De igual manera, la elección del color por parte del odontólogo debe ser correcta. Es por todo ello que el uso de restauraciones cerámicas se ha incrementado, ya que la cerámica dental es un material restaurador con propiedades ópticas y de acabado que le permite alcanzar un nivel de naturalidad lo suficientemente elevado como para mimetizar en la cavidad bucal.

Siendo el color una de las propiedades más influyentes en el resultado estético de una restauración dental, es fundamental garantizar su estabilidad con el paso del tiempo, una vez colocada la restauración en la cavidad bucal, donde se verá sometida a cambios mecánicos, de a masticación y a la influencia de las sustancias pigmentantes de ingesta diaria.

Bajo esta premisa, realizamos en el año 2009 un trabajo de investigación inicial, en la Universitat Internacional de Catalunya, sobre la estabilidad del color de las cerámicas IPS InLine® y IPS InLine PoM®; cerámicas trabajadas con la técnica de estratificación y de inyección, respectivamente. Un objetivo de dicho estudio era determinar si la técnica de confección y las superficies de acabado tenían una influencia directa en la estabilidad de color, por lo que sometieron a estudio tres acabados superficiales, en cada una de las técnicas de confección. Se concluyó que la técnica de confección de la cerámica, estratificada o inyectada, no influía en la estabilidad del color pero que la textura superficial sí lo hacía, siendo las superficies glaseadas las más estables, seguidas de las superficies pulidas con gomas y pastas diamantadas y las menos estables las superficies retocadas a las que no se les realizó ningún tratamiento de pulido posterior.

Es numerosa la bibliografía que sugiere el no realizar ningún tipo de retoque a nuestras restauraciones cerámicas, una vez cementadas en la boca del paciente, ya que existen problemas mecánicos y biológicos que pueden ocurrir como consecuencia de ello, pero la evidencia clínica y otra buena parte de la bibliografía nos demuestra que en muchos casos estas restauraciones se retocan, razón por la cual hay que recurrir a sistemas de pulido manual. Para ello hay en el mercado un número elevado de sistemas.

Al hacer una revisión bibliográfica sobre estos sistemas de pulido y de protocolos establecidos y consensuados para pulir en boca las cerámicas, encontramos que no hay un consenso en este particular.

Todo esto nos ha motivado a llevar a cabo un trabajo de investigación en donde se estudie la estabilidad del color de una cerámica de excelentes propiedades estéticas y de uso frecuente, como lo es el disilicato de litio, relacionando distintos tratamientos de superficie con sustancias de ingesta diaria que pueden causar pigmentación.

2.- Estado de la cuestión.

Vivimos en una sociedad en la que la estética, en todos los sentidos, juega un papel muy importante en nuestras vidas. La estética es un concepto subjetivo sometido a grandes cambios socio-culturales. Dependerá del lugar dónde se trate y de los gustos del paciente.

La sonrisa es la tarjeta de presentación de cualquier persona, por lo que es cada vez más frecuente que se acuda al Odontólogo para mejorar la sonrisa o la estética dental.

Se presentan un gran número de opciones para restaurar los sectores estéticos con sistemas libres de metal. Idealmente éste debería tener buena translucidez, alta resistencia, adecuado ajuste marginal, biocompatibilidad y mantenimiento del color con el paso del tiempo, es decir, que posean unas cualidades estéticas y funcionales comparables a las de la estructura dental natural.

A la cerámica dental se le considera el material estético por excelencia. Sus propiedades físicas, químicas y su estabilidad en el color a largo plazo son las características más ventajosas que ofrecen.

2.1. Cerámicas dentales.

Desde que Charles Land, en 1903, patentara los sistemas totalmente cerámicos, han sido muchas las mejoras que se han introducido, tanto en su formulación como en las técnicas y sistemas para su diseño y confección¹. Las cerámicas son materiales inorgánicos y no metálicos que constituyen objetos sólidos, confeccionados por el hombre por horneado de materiales básicos minerales a temperaturas elevadas², bien en un horno o directamente al fuego y en cuya estructura final se diferencia una fase amorfa (vidrio) y otra cristalina (cristales)^{1,3,4}.

Químicamente se consideran materiales cerámicos a aquellos productos de naturaleza inorgánica, formados mayoritariamente por elementos no metálicos, que se obtienen por la acción del calor y cuya estructura final es parcial o totalmente cristalina⁵.

Las cerámicas dentales se caracterizan por su aislamiento térmico y eléctrico, biocompatibilidad, dureza y fragilidad; poseen una alta resistencia a la compresión pero baja a la tracción, pudiendo fracturarse con muy baja tensión^{1,2}. Esta es una de sus desventajas, como materiales de restauración, ya que su incapacidad para resistir las fuerzas funcionales que están presentes en la cavidad oral ha limitado su uso en las áreas de molares, aunque los avances en los sistemas actuales han permitido su uso en sectores posteriores como prótesis parciales fijas o estructuras protésicas parciales sobre implantes dentales^{2,6}.

Las cerámicas más comúnmente utilizadas en odontología tienen óxidos en su composición, en particular dióxido de silicio (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3), y dióxido de zirconio (ZrO_2). La nomenclatura para denominar cerámicas de óxido se logra mediante la eliminación del sufijo del átomo metálico y su sustitución por una e; por ejemplo, dióxido de silicio se convierte sílice⁷.

Las cerámicas son materiales inorgánicos, que se componen de elementos metálicos y no metálicos. En estado líquido estos elementos se mueven libremente. Durante el proceso de solidificación pueden organizarse en una estructura cristalina ordenada o en una estructura vítrea amorfa. En general, el enfriamiento lento de un material cerámico le permitirá el tiempo suficiente para solidificar de manera cristalina, mientras que el enfriamiento rápido obliga a los átomos a orientarse aleatoriamente como una estructura de vidrio.

El proceso de calentamiento de una cerámica parcial o totalmente cristalina y su enfriamiento rápido, creando un recubrimiento de vidrio, se denomina vitrificación.

Una corona puede ser vitrificada intencionalmente, a fin de autoglasear su superficie o desvitrificarla para aumentar su opacidad.

La microestructura de la cerámica determina sus propiedades mecánicas y ópticas. Las cerámicas cristalinas son aquellas que han organizado átomos en cristales estrechamente empaquetados con una densidad atómica alta; mientras que las de vidrio tienen una densidad atómica inferior. Por lo tanto, una grieta que se propaga a través de una cerámica cristalina tendrá que romper más enlaces atómicos por unidad,

que una grieta que ocurra en una superficie de una cerámica de vidrio. Por lo que, las cerámicas cristalinas son generalmente más fuertes que la cerámica de vidrio. La densidad atómica inferior del vidrio también permite que la luz pase a través de ella, lo que hace que sea translúcida. Contrarias a ellas están las cerámicas cristalinas que son típicamente opacas. Hay algunas excepciones (por ejemplo, como zirconia cúbica o cuarzo), donde las características de la microestructura cristalina le confiere translucidez⁷.

En resumen, partiendo de técnicas de procesamiento apropiadas, un mayor contenido de cristal de un material cerámico contribuye a una mayor resistencia y disminución de la translucidez.

Existen numerosas clasificaciones, para las cerámicas dentales, en función a la temperatura de procesado, el tipo de procesado y su composición química. Siendo esta última la que le confiere las características de importancia para el odontólogo, como lo son la estética y la resistencia, será la clasificación que se empleará en este trabajo.

Según su composición química, se pueden clasificar en: Cerámicas vítreas dentro de las cuales están las feldespáticas, cuya fase dominante es la fase de vidrio; las cerámicas vítreas reforzadas, que tienen una alta concentración de cristales de refuerzo y por otra parte las cerámicas policristalinas, que se componen en su mayoría de cristales⁷⁻⁹.

2.1.1 Cerámicas Vítreas.

Las cerámicas dentales que mejor imitan las propiedades ópticas de esmalte y la dentina son predominantemente materiales vítreos. Sus átomos no siguen un patrón regular, por lo que su estructura es amorfa o sin forma. Se derivan principalmente de un grupo de minerales, como lo son el feldespato, el sílice (óxido de silicio) y la alúmina (óxido de aluminio)^{9,10}.

2.1.1.1 Feldespáticas.

Están compuestas generalmente por feldespato de potasio ($K_2Al_2Si_6O_{16}$) y feldespato de sodio ($Na_2Al_2Si_6O_{16}$). El feldespato de potasio forma leucita, responsable del aumento del coeficiente de expansión térmica (CET) y de la resistencia.

En cuanto a su tratamiento térmico, es importante el tratamiento conocido como “ceraming”¹¹ que se compone de dos procesos: el vidrio se calienta hasta una temperatura donde se forman los núcleos (750 ° -850 ° C), y esta temperatura se mantiene durante un período de tiempo comprendido entre 1 y 6 horas, de modo que los núcleos cristalinos se forman en el vidrio (proceso conocido como nucleación). A continuación, se aumenta la temperatura hasta el punto de cristalización (1.000 ° - 1.150 ° C) y esta temperatura se mantiene durante un período que varía de 1 a 6 horas, hasta que se obtiene el nivel deseado de acristalamiento (proceso conocido como cristalización)¹².

La cerámica feldespática es el tipo más translúcido de cerámicas y se utiliza normalmente para aplicaciones estéticas tales como carillas o materiales de recubrimiento. Es un tipo específico de cerámica compuesta por feldespato, caolín y cuarzo. El feldespato aporta la matriz vítrea, el caolín la plasticidad, el cuarzo aporta cristales de refuerzo, de alúmina y sílice^{13,14}.

Dado que la cerámica feldespática es también la cerámica más débil, se utiliza como recubrimiento de un núcleo más fuerte, o en caso de carillas, unida químicamente al diente subyacente para aumentar su fuerza. Cuando se usa para recubrir núcleo, el coeficiente de expansión térmica (CET) de la cerámica feldespática se ajusta para que coincida con el CET de la del material que está cubriendo (es decir, mayor contenido de cristal y menor CET cuando recubre a un núcleo de óxido de zirconio que a un metal).⁷ De acuerdo a a normativa ISO 6872 y 9693 deben tener, al menos, una resistencia a la flexión de 50 Megapascales (MPa)¹⁵.

2.1.1.2 *Vítreas reforzadas.*

Se añaden partículas de relleno a la composición de la cerámica de vidrio, con el fin de mejorar las propiedades mecánicas y de controlar los efectos ópticos, tales como opalescencia, color y opacidad. Estas cargas son generalmente cristalinas, pero también pueden ser partículas de vidrio de un punto de fusión más alto¹⁰.

Estos cristales de refuerzo, se incrustan en la matriz de vidrio y ayudan a desviar las grietas, por lo que fortalecen la cerámica⁷.

Los primeros cristales de refuerzo que se emplearon eran cristales de leucita (KAlSi_2O_6), entre un 40 y un 55% de la estructura^{2,9,10} y se empleaba para recubrir estructuras metálicas, lo que incrementaba la resistencia del material sin disminuir su translucidez. Su resistencia a la flexión se veía aumentada en más del doble de las cerámicas feldespáticas convencionales, alcanzando unos 120 Mpa¹⁶.

En el año de 1991 Ivoclar Vivadent, (Shaan Liechtenstein) comercializó el sistema totalmente cerámico, más representativo de este grupo, bajo el nombre de Sistema IPS Empress® ceramics. Fue desarrollado por Wohlwend en el Instituto Dental de la Universidad de Zurich¹⁷.

Hay dos beneficios principales de leucita como una opción de relleno para cerámica dental. En primer lugar, su índice de refracción es muy cercano a la de la cerámica totalmente feldespática, lo que representa un aspecto importante para mantener la translucidez. En segundo lugar, la leucita se graba a mucho más que la cerámica de base, y este 'grabado selectivo' crea unas microretenciones que favorece una buena unión micromecánica, de los cementos resinosos¹⁰.

También pueden estar reforzadas con óxido de litio, lo que causa un aumento de la resistencia a la flexión, y una microestructura más homogénea. Suele usarse como núcleo interno de las restauraciones, recubriéndolas con cerámicas de flúor-apatita. Se inyecta a presión. Es un sistema semi-translúcido, por lo que no es recomendado en muñones muy oscuros. Ejemplo de ellos son los sistemas IPS Empress® II, y Style®-Press^{18,19}.

Dentro de este grupo, de cerámicas reforzadas, también encontramos a las cerámicas aluminosas, descritas por Mc Lean y Hughes en 1960¹⁸. En ellas el incremento de alúmina alcanza cifras entre un 40 y 85%, se reduce la concentración de óxido de silicio del 60% hasta el 15%, por lo que la resistencia de estas cerámicas duplican aproximadamente la de los materiales de feldespato convencionales; logrando hasta 180 MPa. Están indicadas para la confección de coronas completas y como recubrimiento de porcelanas de óxido de aluminio y de estructuras de metálicas. Pueden utilizarse para carillas, pero se ha de recordar que su resultado estético y su fuerza adhesiva no son tan buenos como las feldespáticas¹⁸.

2.1.1.2.1 *Disilicato de Litio.*

Para aumentar la resistencia, la expansión térmica y la contracción de la cerámica, los fabricantes han añadido partículas de relleno cristalino²¹. Otros tipos de rellenos incluyen partículas de vidrio de alto punto de fusión, que son estables a la temperatura de cocción de la cerámica²². Kelly en el 2008²¹, se refiere a un material cerámico como una "vitrocerámica" cuando las partículas de relleno se añaden mecánicamente, dentro del vidrio inicial, durante el proceso de fabricación, con un tratamiento de temperatura controlado. La fase cristalina que se forma es un disilicato de litio ($\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$) y representa aproximadamente el 70% del volumen de la vitrocerámica. Una segunda fase cristalina, que consta de un ortofosfato de litio (Li_3PO_4) de un volumen mucho menor también está presente².

El disilicato de litio tiene una microestructura inusual, porque consiste de muchos pequeños cristales alargados que le confieren aumento de resistencia a la flexión pero disminuyen su translucidez, en comparación con las cerámicas feldespáticas. Estos materiales proporcionan un equilibrio entre la fuerza y la translucidez que les permite usarse como restauraciones monolíticas (de una sola capa)^{2,7}.

Las propiedades mecánicas de esta cerámica son muy superiores a las de la cerámica reforzada con leucita, con una resistencia a la flexión tres veces mayor que esta, de entre de 350 a 450 MPa^{16,23,24}.

Además, dispone de una resistencia a la fractura mayor que Empress® II (cerámica reforzada con óxido de litio) debido a una mayor homogeneidad de la fase cristalina²³.

La temperatura de procesamiento, de 920 ° C, es menor que para la reforzada con leucita. Los tamaños de grano de cristales de metasilicato de litio, (estado inicial, previo a la transformación en disilicato de litio), van desde 0,2 µm a 1 µm, lo que hace una resistencia a la flexión de 130 MPa. Durante el ciclo de la cristalización hay un crecimiento controlado del tamaño de grano (0,5 a 5 micras). Esta transformación conduce a una cerámica de vidrio que se compone de disilicato de litio dispersado en una matriz vítrea²⁵. Esta alteración aumenta la resistencia a la flexión de la restauración a 360 MPa, un incremento del 170%²⁶.

Hay dos métodos básicos de fabricación. El primer método consiste en fresar todo el contorno anatómico de la restauración. Antes de la cristalización, el borde incisal se conserva mediante la creación de un índice de silicona. El borde incisal se reduce, se crean los mamelones, y se estratifica con las porcelanas incisales, al contorno original utilizando el índice de silicona como guía. La restauración se cristaliza a continuación en el horno, utilizando el programa de cocción estándar. Una variación de esta técnica es la de cristalizar antes de las etapas de estratificación. Este método permite al operador ver el color de la restauración antes de la aplicación de la cerámica de estratificación.

El segundo método consiste en fresar el contorno completo, aplicar los tintes y la cerámica de esmalte y cristalizar. Este método también tiene una variación que incluye la aplicación de tintes y el esmalte después de la etapa de cristalización. Esto permite al operador ver el color final de la corona, sin la aplicación de los tintes. Puede ser más fácil aplicar los tintes, pero se trata de un segundo ciclo de cocción de 12 min².

Por otra parte, el disilicato de litio no requiere unión subyacente a la estructura dental para obtener propiedades físicas²⁷.

2.1.2 Cerámicas cristalinas.

Dentro de este grupo encontramos a las cerámicas aluminosas y las de zirconio, que cerámicas que carecen de fase vítrea, organizan sus átomos empaquetándolos en matrices regulares, siguiendo patrones cristalinos específicos, por lo que son más duras y resistentes que las cerámicas vítreas^{7,10}. De igual manera, esta organización de su estructura de una manera tan densa, imposibilita el paso de la luz a través de ellas, lo que hace que sean opacas, razón por la cual, en las zonas de máxima estética, se suelen usar como casquillos de base y se recubren con cerámicas vítreas¹⁰.

2.1.2.1 De alúmina.

En 1993 Andersson y Oden²⁸ describieron una técnica para fabricación de coronas de cerámica individuales sin metal, utilizando solo una cofia densamente sinterizada de alúmina de alta pureza. Fue comercializado como el Sistema de Procera® All-Ceramic. (Estocolmo, Suecia). La gran pureza de la Alúmina y su estructura cristalina le conferían tanta resistencia que pudieron reemplazar a las cofias metálicas; el problema que presentaban era el de la elevada contracción por sinterización que, sin embargo, logró resolverse¹⁸.

El sistema Procera® está realizado mediante la compactación de polvo de alúmina de alta pureza (Al_2O_3 99,9%) con una técnica de prensado en seco, en donde los modelos de yeso son escaneados, o la impresión obtenida por un escáner intraoral, se envían a un centro de fresado, para el diseño de la cofia, que incorpora una magnificación del modelo real, con la finalidad de compensar la contracción de la alúmina al sinterizarse. El proceso de sinterización es lento, lo que da lugar a una estructura cristalina densa con un tamaño de grano promedio de 4 μm y una fuerza de flexión de 601 MPa²⁸.

En sus inicios, el Sistema Procera® fue bien aceptado, por sus cualidades de resistencia. Numerosos estudios comprobaron esta ventaja y no sólo se lo atribuyeron a la resistencia propia del material, sino al buen ajusta marginal y en toda la superficie de los muñones, lograda por la técnica de fabricación asistida por ordenador (CAD/CAM), en donde el diseño permite dejar una mínima capa de espesor para el cemento y controlar de una manera más efectiva el ajuste²⁹⁻³³.

2.1.2.2 Zirconio.

El zirconio se encuentra, en la naturaleza, como un mineral natural llamado badeleyita. Este mineral contiene entre 80-90% de óxido de zirconio. Las principales impurezas son generalmente TiO_2 , SiO_2 y Fe_2O_3 . Este óxido se presenta en tres estructuras cristalinas diferentes: monoclinico a temperatura ambiente, tetragonal a 1200 ° C y cúbico a 2370 °.

El óxido de zirconio se transforma de un estado cristalino a otro durante la cocción. A la temperatura de cocción, es un zirconio tetragonal y a temperatura ambiente, es monoclinico, con una celda unitaria de monoclinico que ocupa aproximadamente 4,4% más de volumen que cuando es tetragonal².

A finales de 1980, los ingenieros de cerámica aprendieron a estabilizar la forma tetragonal a temperatura ambiente mediante la adición de pequeñas cantidades (8.3% de la masa total) de calcio, itrio o cerio. Estabilizado a temperatura ambiente, la forma tetragonal es "metaestable", lo que significa que existe energía atrapada dentro del material para conducirla de vuelta al estado monoclinico. El estrés altamente localizado en una grieta es suficiente para desencadenar esta transformación. En este caso, el aumento de volumen 4,4% se convierte en un beneficio, esencialmente porque cierra las grietas^{2,34-36}.

Presenta una resistencia a la flexión y a la fractura más alta que todas las cerámicas disponibles en la actualidad.

La cerámica de zirconio le debe su popularidad clínica a sus excelentes propiedades mecánicas y la facilidad de mecanizado en la etapa verde a través de diseño asistido por ordenador y tecnología de fabricación por ordenador (CAD-CAM)³⁷.

Los estudios clínicos han demostrado su excelente desempeño a pesar de los primeros casos donde ocurrían desprendimientos de la cerámica de recubrimiento^{38,39}.

Estos primeros problemas parecen haber sido superados con éxito, al adoptar protocolos de laboratorio en donde las velocidades de calentamiento y enfriamiento son más lentas³⁷, por recomendaciones de los fabricantes, además de estudios convincentes, como el de Benetti et al.⁴⁰, 2014, en cuanto a sensibilidad a los cambios de temperatura.

Denri et al.³⁷, mencionan que aparte de una presentación hecha por Nathanson en el 2010, en una Sesión General de la Asociación Internacional de Investigación Dental (IADR), en donde se evaluaron 702 unidades de zirconio, en un período cinco años, ninguna evidencia clínica parece haber sido publicada. En esa presentación se dijo que no se habían encontrado fallos superiores a los exhibidos por las restauraciones metal cerámicas.

Autores como Denri y Kelly³⁷ opinan que aspectos tan complejos como el comportamiento mecánico y químico de zirconio parcialmente estabilizado aún no han sido plenamente explorados. Sin embargo, está bien establecido que cada paso del proceso de fabricación de la cerámica de óxido de zirconio tiene que ser controlado cuidadosamente para lograr las propiedades mecánicas y químicas deseadas.

2.1.3 Nuevos materiales cerámicos.

2.1.3.1 Cerámicas de zirconio a base de silicato de litio (ZLS).

Han sido introducidas recientemente en el mercado dental, (Celtra™, Dentsply; Suprinity®, Vita) para las técnicas de CAD-CAM, con propiedades mecánicas comparables con las disilicato de litio (LS2). La tecnología se basa en la adición de 10%

en peso óxido de zirconio a la fase vítrea formada por el silicato. El zirconio actúa como agente de nucleación pero permanece en solución en la matriz vítrea, con dos consecuencias principales: Una fase cristalina doble, formada por una microestructura muy fina de metasilicato de litio (Li_2SiO_3) y disilicato de litio ($\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$) y una matriz vítrea que contiene óxido de zirconio en solución^{37,41}.

La microestructura se consigue en dos etapas. La primera, etapa de pre-cristalizado, sólo contiene cristales de metasilicato de litio y es fácil de mecanizar. La segunda etapa, que conduce a la microestructura dual de silicato de litio, se realiza a través de un tratamiento térmico corto a 840 ° C durante 8 min.

La principal diferencia entre ZLS y LS2 vitrocerámicas en su etapa final de cristalización reside en la naturaleza de la fase cristalina: metasilicato de litio más disilicato de litio para ZLS y sólo disilicato de litio para LS2³⁷.

El desarrollo de la cerámica ZLS ilustra la búsqueda constante de materiales cerámicos. Esta ofrece una translucidez adecuada combinada con propiedades mecánicas mejoradas.

2.2.3.2 Composites interpenetrados. (IPS)

Este material se caracteriza por tener dos fases que se forman por la infiltración de una estructura porosa (matriz cerámica) con un líquido (matriz de una resina polimérica) para formar la segunda fase interpenetrante⁴².

Actualmente, en odontología se dispone de un sistema de cerámica-vidrio y un sistema cerámica-polímero. El primero In-Ceram Alumina, VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH &Co. (KG Germany) se basa en alúmina (68%) infiltrado con una cerámica de vidrio. El segundo es el sistema Enamic® VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH &Co. (KG Germany) el 86 % de su peso lo constituye un material cerámico inorgánico y el material polimérico orgánico, el restante 14 %. Aunque no es tan fuerte como la cerámica CAD / CAM, tiene un módulo elástico de aproximadamente 38 GPa, ligeramente superior de la dentina⁴³.

Un estudio reciente mostró que este IPC tiene tres ventajas adicionales sobre la cerámica prensada y mecanizada con CAD / CAM:

- 1.- Índice de fragilidad razonable.
- 2.- Menor dureza.
- 3.- Respuesta a la deformación similar a la del esmalte y buena distribución de estrés⁴⁴.

2.2 Pulido de las restauraciones dentales.

La apariencia estética de las restauraciones realizadas con materiales dentales depende en gran medida de la calidad de la superficie de los mismos. Es por ello que existe un gran interés en valorar sistemas de acabado y pulido que logren este cometido.

La superficie de materiales de restauración dental necesita ser pulida y lisa; de lo contrario, superficies rugosas pueden crear una disminución de la flexión del material⁴⁵, reducir la fuerza de las cerámicas y hacerlas propensas a la fractura⁴⁶, abrasionar los dientes o restauraciones antagonistas, lo que puede causar un aumento de la tinción superficial de estos⁴⁷⁻⁵⁰, así como la acumulación de la placa y cálculo.

Todos estos aspectos inciden de manera negativa en la salud del sistema oral^{51,52}, ya que pueden provocar una acumulación excesiva de placa, lo que trae como consecuencia un aumento de caries e irritaciones, inflamaciones o infecciones de los tejidos blando^{46,53}, al hacer las superficies abrasionadas más susceptibles al asentamiento y colonización de microorganismos⁵⁴⁻⁵⁷.

El aspecto liso y suave de la cerámica dental se logra mediante la aplicación de sistemas de glaseado, que consiste en someterla a temperaturas que son 20°C a 60°C más baja que la de la temperatura de fusión de la porcelana (Autoglaseado o glaseado natural), o bien se puede aplicar un producto de revestimiento y se aplica un ciclo de cocción equivalente a la temperatura de cocción original (sobreglaseado)^{53,58-60}

La técnica de autoglaseado a glaseado natural, se refiere al proceso en el que la restauración se cuece a una temperatura que es igual o ligeramente mayor que la temperatura de cocción original de la cerámica. La restauración se inserta en el horno

lentamente y cuece a la temperatura de acristalamiento recomendada por el fabricante, durante un corto período de tiempo, por lo general 1 ó 2 minutos, hasta que la superficie exterior de la porcelana desarrolla el nivel deseado de brillo. La superficie de la cerámica de la restauración es expuesta a temperaturas suficientemente altas para permitir a la porcelana fusionarse y crear una superficie exterior lisa y brillante. Este proceso se lleva a cabo a presión atmosférica. Las irregularidades y defectos superficiales en la superficie de porcelana están cerrados mientras que la superficie se funde ligeramente durante la cocción, creando una superficie lisa y pulida^{58,61}.

El sobreglaseado implica la aplicación un producto de revestimiento, tiene la ventaja de proteger a los tintes o correcciones que se hayan aplicado a la cerámica, ya que se cuece a una temperatura menor que la temperatura de cocción inicial, entre 20°C y 60°C menos⁶¹.

Las causas de la rugosidad de una superficie de una restauración, una vez colocada en boca, son varias, entre ellas encontramos: Correcciones oclusales, aplicaciones de flúor, bebidas carbonatadas, y tratamientos de abrasivos^{62,67}.

La superficie que se ha perdido sus características iniciales, por alguna de las causas mencionadas, puede ser pulida con algún kit de pulido de uso intraoral⁵³.

2.2.1 Sistemas de pulido.

Cuando las superficies de las cerámicas se han retocado en boca deben ser pulidas, a fin de alisar la superficie, el objetivo es lograr que esta sea aceptable para el paciente y que tenga la menor probabilidad posible de desgastar los dientes o restauraciones antagonistas⁶⁸⁻⁷².

El acabado eficaz y pulido de las restauraciones cerámicas no sólo influye en la estética y la longevidad de los dientes restaurados, sino también en la salud oral aceptable de tejidos blandos y la integridad marginal de la interfase de la restauración⁷³.

El ajuste, el contorno y los procedimientos de acabado de las restauraciones de cerámica desempeñan un papel fundamental en la consecución de la función adecuada y una estética óptima. Por lo tanto, es imprescindible tener en cuenta los distintos sistemas de acabado de cerámica disponibles para devolver la suavidad perdida de las superficies erosionadas para obtener una biocompatibilidad óptima.

Un número de técnicas de pulido mecánico se describen en la literatura y se han comparado con el glaseado⁷⁴. Algunos autores^{56,75}, favorecen el pulido mecánico y concluyeron que el pulido intraoral de la porcelana puede igualar o superar la suavidad de la porcelana glaseada.

Otros autores refieren que estos resultados no son buenos, comparados con la superficie glaseada o reglaseada^{66,76, 77}

En la actualidad, son numerosos los sistemas de pulido que podemos encontrar, compuestos por una variedad de materiales: piedras diamantadas, piedras abrasivas, copas de goma, ruedas de fieltro, discos abrasivos y pastas diamantadas. Estos sistemas han sido motivo de diversos estudios en donde se han comparado, sin que haya un protocolo establecido y consensuado acerca de cómo emplearlos^{53,66,78-84}.

2.3 Rugosidad superficial.

Tal como se ha expresado en el apartado anterior, la rugosidad es un aspecto que influye en diversas características de una restauración cerámica, tales como, el brillo, la estética y la retención de microorganismos, las cuales pueden verse negativamente afectadas si el acabado de la restauración no es correcto. Para una mejor comprensión de este tema, se deben manejar conceptos básicos de rugosidad y superficie.

Todas las superficies contienen irregularidades o asperezas que definen su topografía. Una superficie perfecta es una abstracción matemática, ya que cualquier superficie real, por perfecta que parezca, presentará irregularidades que se originan durante el proceso de fabricación. Estos errores puede ser macro o micrométricos y se presentan simultáneamente sobre una superficie, lo que dificulta la medición individual de cada uno de ellos.

Dentro de las características topográficas básicas podemos encontrar la textura, que consiste en las desviaciones repetitivas o aleatorias de la superficie nominal de un objeto; la definen tres características: ondulación, defectos o fallas de forma y rugosidad⁸⁵.

La ondulación superficial consiste en irregularidades de la superficie de espaciado superior a la rugosidad. El error de forma es una desviación grande de la forma nominal de la pieza y la rugosidad incluye las irregularidades de corto alcance en el espacio y la textura superficial. Está creado por valles y picos de altitud variable y espaciado superior a las dimensiones moleculares.

Las técnicas cuantitativas de medida de a rugosidad hacen uso de filtros de corrección de fase. La normativa ISO 16610 define diferentes filtros, tanto para el perfil en dos dimensiones (2D) como para el de tres dimensiones (3D). Generalmente el más usado es el de tipo Gaussiano para separar la ondulación y los errores de forma de la rugosidad⁸⁶.(figura 1)

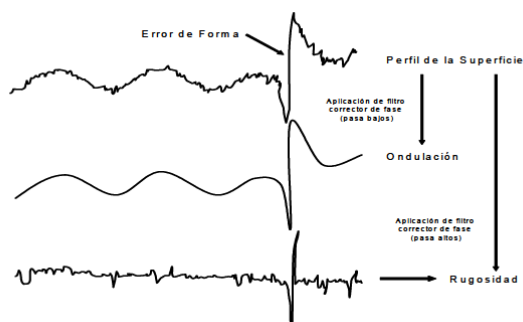


Figura 1. Detalles topográficos de una superficie: Ondulación, rugosidad y error de forma.

La rugosidad es el conjunto de irregularidades de la superficie real, definidas convencionalmente en una sección donde los errores de forma y las ondulaciones han sido eliminados. Estas irregularidades en la superficie, pueden ser provocadas por la herramienta de corte o elemento utilizado en su proceso de producción, corte, arranque y fatiga superficial.

La rugosidad puede cuantificarse y describirse a través de numerosos métodos sobre el perfil de la superficie, bien sea en 2D o 3D.

2.3.1 Medición de la rugosidad.

Tradicionalmente, la caracterización del acabado superficial se realiza en base a una información bidimensional contenida en un perfil. Dicho perfil se obtiene mediante la intersección de un plano normal a la superficie y está formado por un conjunto de puntos $\{x_i, z_i\}$ en los que la coordenada x representa una longitud medida sobre la dirección del perfil y la coordenada z representa el valor de la altura de cada punto. Puede parecer que la exclusión de una dirección (eje Y) supone una restricción importante a la hora de caracterizar una microgeometría, y aunque de hecho se trata de una limitación, las ventajas que se obtienen de este proceder hasta ahora han sido, mayores que los inconvenientes. Los motivos que refuerzan este hecho derivan fundamentalmente de dos condiciones: el tipo de instrumentación empleada y la cantidad de información a procesar⁸⁷.

En cuanto tipo de instrumentación empleada, existen numerosos métodos de caracterización del acabado de superficial (figura 2). Los más ampliamente difundidos son los basados en medios mecánicos y en el empleo de un captador que contacta con la superficie de la pieza. El motivo de esta difusión radica en su versatilidad, su robustez y su bajo coste frente a otros tipos de instrumentación que generalmente se basan en equipos más delicados y costosos con unos requerimientos más restrictivos en el entorno de medición y la tipología de piezas.

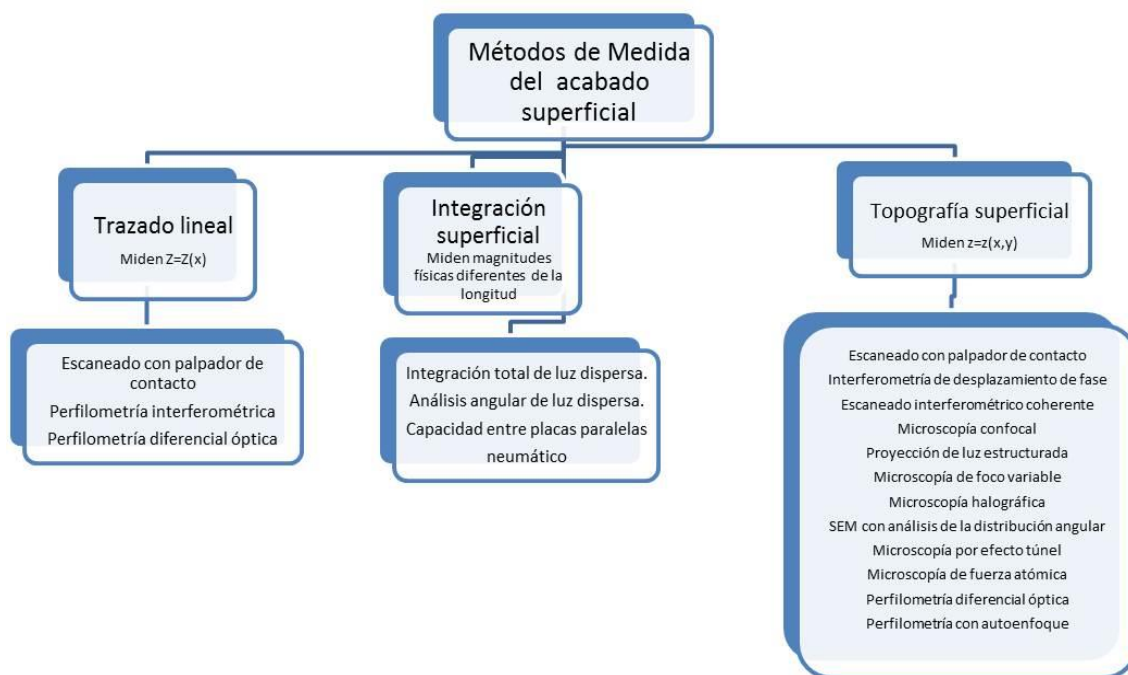


Figura 2. Métodos de medición del acabado superficial según UNE-EN ISO 25178-6:2010.

Respecto la cantidad de información a procesar ha sido una limitación durante mucho tiempo aunque cada vez es factor de menor incidencia al haberse producido grandes avances en los sistemas de almacenamiento de información. La cuestión en este punto es conocer si el manejo de una cantidad de información considerablemente mayor aporta algún tipo de beneficio adicional que justifique su utilización.

Como hemos visto en la Figura 2, son muchas las técnicas de caracterización del acabado superficial y cada una aporta información limitada. Estas limitaciones se deben a la resolución lateral y/o vertical, y la accesibilidad a los detalles de la superficie, además de por su longitud de medida máxima o el rango de área y/o altura que pueden medir.

Debido a la variedad de posibilidades para el análisis de la topografía, así como el hecho de que todas poseen ciertas ventajas pero también ciertos inconvenientes, lo óptimo es realizar análisis de la rugosidad con distintas técnicas que permitan describir

la superficie cualitativa y cuantitativamente, en todos los niveles dimensionales: macro, micro y nanométrico⁸⁸.

2.3.1.1 Microscopía Laser Confocal.

Desde el siglo XVI cuando se creó el primer microscopio, hasta a actualidad, la microscopía óptica se ha ido perfeccionando hasta alcanzar el nivel que tenemos en la actualidad, en donde las técnicas son muy variadas tal como lo expresan J Diaz y G Oncins⁸⁹.(tabla 1).

MICROSCOPIA	Resolución lateral	Campo Aplicación
Confocal	Hasta 150/0,01nm	Materiales/Biológico
Interferometría	Hasta 450/0,01nm	Materiales
Snom	10nm/0,01nm	Materiales/Biológico
Holografía	100nm/1nm	Materiales/Biológico
Total Internal Reflection		
Fluorescence (TIRF) Microscope	500nm/100nm	Biológico
Photo-activated localization microscopy (PALM)/Stochastic optical reconstruction microscopy (STORM)	60nm/10-20nm	Biológico
4 Pi Microscope	150nm/100nm	Biológico
Stimulated Emission Depletion (STED) Fluorescence Microscope	100nm/100nm	Biológico
Structure Illumination Microscope	100nm/100nm	Biológico
Optical Tweezers		Biológico

Tabla 1. Técnicas de microscopía óptica avanzada

• (J. Díaz, G. Oncins. Microscopía Óptica Avanzada aplicada a materiales. Conceptos de rugosidad. Unidad de Microscopía de Rastreo, Centro Científico y Tecnológico de la Universitat de Barcelona. (CCIT-UB))

De igual manera estos autores comentan, que la microscopía óptica se utiliza ampliamente en muchos sistemas. Hoy en día, las técnicas ópticas son una herramienta muy importante tanto en ingeniería de materiales como en el campo de la biotecnología. Estas técnicas incluyen sistemas biológicos tales como células o tejidos, así como también las áreas de la física "blandas", como los fluidos complejos. Dado que las escalas de longitud de trabajo están en el orden de la longitud de onda de la luz visible, la microscopía proporciona una poderosa herramienta para obtener información espacial en tiempo real. Los usuarios de estas técnicas buscan rapidez de medida, alta resolución, reproducibilidad y, preferiblemente, que sean técnicas de no contacto, no invasivas y no destructivas⁸⁹. Esta característica de no destrucción de las muestras, ha sido descrita por investigadores del área de odontología como una de las grandes ventajas de la microscopía óptica^{81,82,90}.

La mayor parte de las muestras observadas con microscopía óptica son translúcidas o, en el caso de ser opacas, su superficie de reflexión no se encuentra perfectamente pulida. En ambos casos la luz interacciona con la muestra a varias profundidades por lo que la imagen que llega al observador presenta áreas borrosas debidas a la luz procedente de zonas fuera del plano de enfoque, lo que produce una degradación en el contraste y resolución de la imagen.

La microscopía láser confocal fue patentada hace varios años (Minsk, 1957) y los primeros microscopios basados en esta técnica que demostraron su validez fueron descritos por Petran et al. en 1968, según lo menciona Martínez A⁹¹. Su gran aceptación y espectacular desarrollo no ha tenido lugar hasta hace unos pocos años con el desarrollo del láser y de los ordenadores personales.

A diferencia de la microscopía óptica convencional, la microscopía confocal se basa en eliminar la luz reflejada o fluorescente procedente de los planos fuera de foco (figura 3). Para ello se ilumina una pequeña zona de la muestra y se toma el haz luminoso que proviene del plano focal, eliminándose los haces procedentes de los planos inferiores y superiores⁹²⁻⁹⁵.

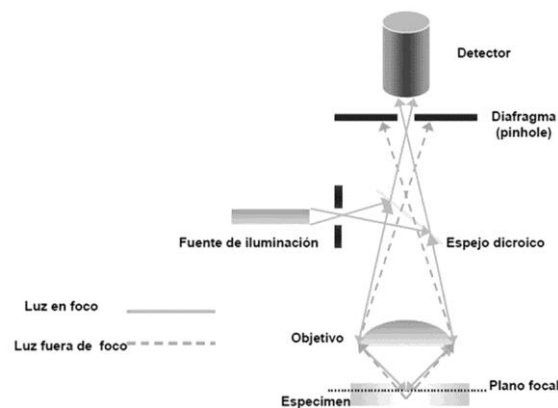


Figura 3. Esquema de funcionamiento de un microscopio confocal.

Por lo tanto, la luz de otros niveles de la muestra y la iluminación fuera de foco no se detectan y no afectan a la calidad de la imagen, puesto que solamente uno o un número finito de puntos en la superficie se iluminan al mismo tiempo. (figura 4)



Figura 4. Iluminación del microscopio confocal.

A fin de reconstruir la imagen topográfica en profundidad (imagen confocal), es necesaria una exploración en el plano vertical o axial (z), obteniendo imágenes a diferentes profundidades de muestra. En cada una de las imágenes o planos, el punto de iluminación debe ser escaneado en dos dimensiones (x , y) de forma perpendicular al eje óptico y la superficie del objeto debe moverse en relación a la dirección axial del microscopio.

Según Shmidt⁹⁵, la microscopia confocal, permite la medición topográfica de superficies con una amplia gama de texturas, desde superficies muy rugosas a superficies muy lisas, mediante el escaneo en pasos de la muestra verticalmente, de manera que cada punto de la superficie pase a través de un punto denominado foco o zona focal. Se establece la altura de la superficie en cada punto mediante la detección de la posición del valor máximo de la respuesta axial.

Son indudables las ventajas que ofrece la microscopía confocal frente a la microscopía óptica tradicional.

- **Mayor resolución.** Para un objetivo de inmersión en aceite con una apertura numérica de 1.4 y una longitud de onda de 442 nm es posible alcanzar resoluciones de 0.14 μm en horizontal y 0.23 μm en vertical⁹⁶.

- **Mayor contraste.** Debido a que se elimina la luz procedente de las zonas fuera de foco.

- **Posibilidad de realizar secciones ópticas.** Variando el plano de enfoque el sistema es capaz de tomar imágenes a diferente profundidad. Lo que permite obtener información tridimensional de la muestra.

- **Análisis de imágenes.** Al obtenerse la imagen de modo electrónico es posible digitalizarla y aplicar sobre ella toda una serie de técnicas de análisis de imágenes como: realce de imágenes para mejorar su calidad, combinación de imágenes para comparar cambios en el tiempo, medida de intensidades, medidas morfométricas, etc.

- **Reconstrucción 3D.** A partir de las secciones ópticas es posible aplicar técnicas de reconstrucción 3D que nos permitan visualizar las estructuras.

- **Imágenes multidimensionales.** El microscopio confocal nos permite estudiar márgenes en 2 y 3 dimensiones a lo largo del tiempo. Es posible programar el equipo para obtener imágenes durante un periodo de tiempo determinado.

-**Imágenes Lambda.** Si el equipo cuenta con un detector espectral podremos tomar imágenes a diferentes longitudes de onda (lambda scan) y a partir de ellas deducir el espectro de emisión de un fluorocromo determinado.

Si el microscopio confocal es un microscopio en el que el haz láser barre la muestra, Confocal Laser Scanning Microscope (CLSM), ofrece ventajas adicionales como lo son:

-Posibilidad de obtener imágenes perpendiculares al plano XY tomando la misma línea a diferentes profundidades.

- Fijar el láser sobre un punto o una pequeña zona de la muestra y tomar imágenes a diferentes tiempos para observar los efectos del láser sobre esa zona.

- Aumentar la resolución mediante zoom del área a barrer tomando mayor número de puntos en áreas más pequeñas.

Por otra parte presenta como desventajas los artefactos para pendientes $<20^\circ$, la necesidad de superficies reflectoras de la luz, para altas resoluciones laterales sólo es posible medir áreas muy pequeñas⁹⁷.

Dentro de los microscopios confocales encontramos el LEICA DCM3D, cuyas especificaciones se muestran en la tabla 2 y tabla 3.

Especificaciones	generales (LEICA DCM3D)
Principio de medición	Perfilometría óptica de tecnología dual (confocal e interferometría) sin contacto, 3D
Preparación de muestras	No se requiere ninguna preparación específica de la muestra
Funciones	Adquisición de imágenes, topografía tridimensional, perfiles, coordenadas, capas y recubrimientos transparentes, rugosidad, volumen, textura de la superficie, etc.
Modos de contraste	Confocal, interferometría (PSI, ePSI, VSI), campo claro en color, campo claro en escala de grises (alta resolución), campo oscuro.
Objetivos	2.5X a 150X en confocal/ 5X a 50X en interferometría
Revólver	Revólver para 6 objetivos manual/ revólver para 6 objetivos motorizado
Rango de desplazamiento De la platina (x,y)	Manual: 200×100mm (otros previa solicitud). Confección manual de imágenes panorámicas disponible. Motorizada: De 114×75 mm a 302×302 mm. Confección automática de imágenes panorámicas disponible en todo el margen de escaneo de la platina Platinas codificadas de lazo cerrado para la confección de alta precisión de imágenes panorámicas
Iluminación	Diodo luminoso blanco de alta potencia de 530 nm para luz coaxial. Diodo luminoso azul de alta potencia de 460 nm para luz coaxial.
Adquisición de imágenes	2 sensores: Sensor metrológico (blanco y negro), sensor cromático (ambos CCD de alta resolución).
Margen de detección vertical	40mm
Reflectividad de la muestra	De 0.1% a 100%
Temperatura de servicio	5°C a 40°C
Aislamiento antivibraciones	activo o pasivo (recomendado para interferometría)

Tabla 2. Especificaciones del LEICA DCM3D.

Modo confocal					
Aumentos	5x	10x	20x	50x	150x
	0,15	0,3	0,5	0,9	0,95
Apertura numérica	2550x	1270x	636,61x4	254,64x1	84,83
Campo de Visión(μm)	1910	950	77,25	90,9	x63,6
Resolución óptica(x/y) (μm)	0,94	0,47	0,28	0,16	0,14
Resolución vertical (nm)	<150	<30	<15	<3	<2
Velocidad de escaneado vertical (μm/s)	20-320	10-160	may-80	ene-16	0,5-8

Tabla 3. Especificaciones del LEICA DCM3D, en modo confocal.

2.3.1.2 Parámetros de medición.

En el sistema internacional la unidad de rugosidad es el micrómetro o micra (1micra= 1 μm= 0,000001 m = 0,001 mm).⁸¹

Para medir la rugosidad se realizan los siguientes pasos: (figura 5)

- 1.- Medir un perfil completo con una longitud de evaluación normalizada $l_n > l_c$ (generalmente, $5 \cdot l_c$).
- 2.- Filtrar la señal para eliminar la ondulación.
- 3.- Establecer la línea media: Línea que separa áreas iguales en los picos y en los valles

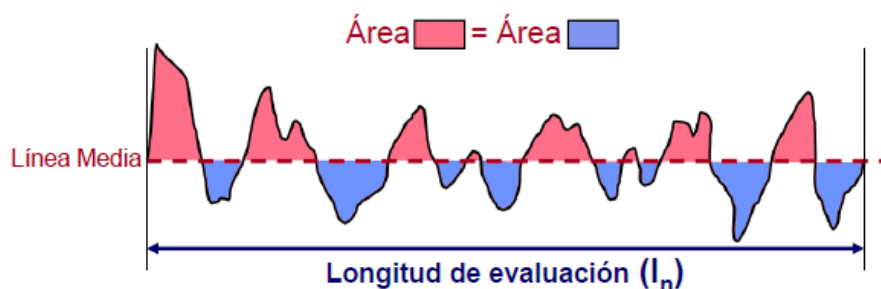


Figura 5. Medición de la rugosidad.

Para medir la rugosidad existen más de 90 parámetros tanto en dos dimensiones (2d)^{98,99} como en tres dimensiones (3D)¹⁰⁰⁻¹⁰².

En este trabajo solo se mencionaran los más comúnmente utilizados. Parámetros en 2D, definidos en la Normativa UNE-EN ISO 4287:1999: (tabla 4)

Término	Definición
Ra	Rugosidad media
Rq	Rugosidad RMS
Rp&Rv	Perfil Máximo y perfil máximo de profundidad de valle
Rt	Máxima altura de superficie
Rz	Media de la máxima altura del perfil
Rsk	Skewness, medida de la asimetría del perfil sobre la línea base
K	Kurtosis describe la densidad de probabilidad del perfil.

Tabla 4. Parámetros 2D más utilizados.

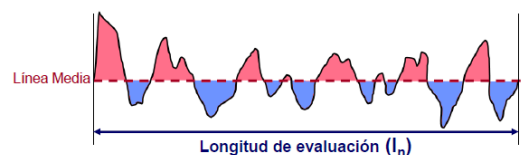
De todos los parámetros empleados en la caracterización del acabado superficial el parámetro R_a es el más ampliamente difundido, en diversos campos de estudio, incluyendo la odontología. Se trata de un valor medio de alturas y su sencillez de evaluación y su buen comportamiento en numerosos aspectos funcionales hacen que los usuarios recurran a él con mayor asiduidad⁸⁷. Es la media aritmética del perfil (figura 6):

$$R_a = \frac{1}{l_n} \int_0^{l_n} |y(x)| dx$$

Figura 6. Parámetro Ra.

Es el resultado de realizar la operación: (Figura 7.a y Figura 7.b).

$$\frac{\sum (\text{Área } \color{red}{\square}) + \sum (\text{Área } \color{blue}{\square})}{l_n}$$



Fórmula 7.a y Figura 7.b. Medición del Ra.

Este parámetro no debe ser tomado en cuenta, por sí solo, para describir el comportamiento de una superficie, ya que puede darse el caso de que dos perfiles muy diferentes tengan la misma rugosidad media Ra ^{81,82,103,104} (figura 8).

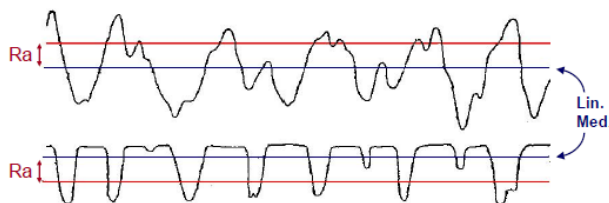


Figura 8. Dos superficies diferentes, con el mismo valor Ra .

Es por ello que se evalúan otros parámetros que complementen la información, en donde se incluya la valoración de picos y valles, entre otras características (figura 9).

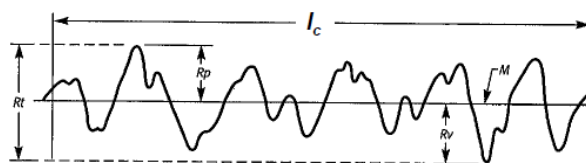


Figura 9. Valoración de picos y valles.

A pesar de que existen numerosos argumentos a favor de la utilización de elementos bidimensionales (perfiles) en la caracterización del acabado superficial, cada vez es mayor el número de trabajos, sobre todo en el campo académico, que abogan por la utilización de métodos de medida tridimensionales. Este hecho deriva en parte de una búsqueda de una mayor exactitud y resolución de las medidas realizadas, del abaratamiento de los sistemas de almacenamiento y procesamiento de la información y del continuo avance experimentado especialmente por las técnicas de microscopía.

Una importante evidencia de esta tendencia lo constituye la normativa ISO recientemente publicada, que aparece recogida en la Tabla 4.

Publicadas		En desarrollo	
ISO 25178-601:2010	Geometrical product specifications (GPS) -- Surface texture: Areal -- Part 601: Nominal characteristics of contact (stylus) instruments	ISO/DIS 25178-604	Geometrical product specifications (GPS) -- Surface texture: Areal -- Part 604: Nominal characteristics of non-contact (coherence scanning interferometry) instruments
ISO 25178-6:2010	Geometrical product specifications (GPS) -- Surface texture: Areal -- Part 6: Classification of methods for measuring surface texture	ISO/DIS 25178-605	Geometrical product specifications (GPS) -- Surface texture: Areal -- Part 605: Nominal characteristics of non-contact (point autofocus probe) instruments
ISO 25178-602:2010	Geometrical product specifications (GPS) -- Surface texture: Areal -- Part 602: Nominal characteristics of non-contact (confocal chromatic probe) instruments	ISO/DIS 25178-70	Geometrical product specification (GPS) -- Surface texture: Areal -- Part 70: Physical measurement standards
ISO 25178-701:2010	Geometrical product specifications (GPS) -- Surface texture: Areal -- Part 701: Calibration and measurement standards for contact (stylus) instruments	ISO/CD 25178-72	Geometrical product specifications (GPS) -- Surface texture: Areal -- Part 72: XML file format x3p
ISO 25178-2:2012	Geometrical product specifications (GPS) -- Surface texture: Areal -- Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters	ISO/DIS 25178-1	Geometrical product specifications (GPS) -- Surface texture: Areal -- Part 1: Indication of surface texture
ISO 25178-3:2012	Geometrical product specifications (GPS) -- Surface texture: Areal -- Part 3: Specification operators	ISO/DIS 25178-606	Geometrical product specification (GPS) -- Surface texture: Areal -- Part 606: Nominal characteristics of non-contact (focus variation) instruments
ISO 25178-71:2012	Geometrical product specifications (GPS) -- Surface texture: Areal -- Part 71: Software measurement standards	ISO/NP 25178-603	Geometrical product specifications (GPS) -- Surface texture: Areal -- Part 603: Nominal characteristics of non-contact (phase-shifting interferometric microscopy) instruments

Tabla 4. Normativa ISO relativa a la caracterización tridimensional del acabado superficial.

Una de las principales novedades que supone esta normativa es la definición de parámetros superficiales, análogos a los parámetros lineales (obtenidos a partir del perfil). Tales como los parámetros S_a y S_q que son equivalentes a los dos parámetros bidimensionales de uso más frecuente R_a y R_q .

Dentro de los parámetros contemplados en la normativa ISO 25178 se encuentran los parámetros de amplitud, que se muestran en la tabla 5.

Parámetro S_a , rugosidad media: expresa la media de los valores absolutos de $Z(x,y)$ en el área medida. Es el equivalente a la media aritmética de la región medida en el diagrama de visualización tridimensional, cuando tanto valles como picos se convierten en valores absolutos, aunque no diferencia entre ellos y el espaciamiento de las diversas características de la textura. Se utiliza para las superficies mecanizadas.

Parámetro S_q , rugosidad media cuadrática: Expresa la media de la raíz cuadrada de $Z(x,y)$ en el área medida. Es el equivalente a la media cuadrática de la región medida en el diagrama de visualización tridimensional. Cuando los valles han cambiado a picos altos. Es más sensible que S_a a picos y valles. Se utiliza normalmente para especificar superficies ópticas.

Parámetro S_{sk} , Skewness: Representa el cociente, de valor del cubo de los valores de la ordenada y el cubo de cuadrados dentro del área medida. Es por tanto, el grado de asimetría y expresa simetría de los picos y valles sobre la superficie medida. Un $S_{sk}=0$ es simétrico respecto a la línea media, (distribución normal). Un $S_{sk}>0$ representa un predominio de picos y un $S_{sk}<0$ representa un predominio de valles. Suele emplearse para la evaluación del brillo y para la supervisión de los diferentes tipos de condiciones de desgaste.

Parámetro S_{ku} , Curtosis: Expresa un cociente del valor cuadrático medio de los valores de ordenada y es la cuarta potencia de los cuadrados dentro de la zona medida. Se establece como criterio para la determinación de la nitidez de una superficie, y expresa la distribución de las alturas. Un $S_{ku}=3$ expresa una distribución normal. Un $S_{ku}>3$ la distribución de la altura se enriquece y un $S_{ku}<3$ representa que la forma de la distribución de la altura de rugosidad superficial es aplastado.

Parámetro S_z , altura máxima de la superficie: expresa la suma del valor máximo de la altura del pico Z_p y del valor máximo de profundidad del valle Z_v dentro de la zona de medida de la superficie. Se usa para la evaluación de brillo y lustre, resistencia de la superficie, tratabilidad de la superficie, la fuerza de fricción, resistencia de contacto eléctrica, superficies de sellado y aplicaciones de revestimiento.

Parámetro S_p , altura máxima del pico: expresa el valor máximo de la altura del pico Z_p en el área medida de la superficie, pico de la superficie, un área por encima del nivel medio de la superficie (eje X eje Y). Suele emplearse para la evaluación de la fuerza de fricción y resistencia al contacto eléctrico. También para superficies que se apliquen en contactos deslizantes.

Parámetro Sv, profundidad máxima del valle: Expresa el valor máximo de profundidad del valle Zv en el área medida de la superficie. A menudo se emplea para la evaluación de la resistencia a la corrosión. También en aplicaciones relacionadas con retención de líquidos y lubricación.

Símbolo	Nombre
Sa	Rugosidad media
Sq	Rugosidad media cuadrática
Ssk	Skewness
Sku	Kurtosis
Sz	Altura Máxima de la superficie
Sp	Altura Máxima del pico
Sv	Profundidad máxima del valle

Tabla 5. Parámetros 3D de amplitud.

2.3.1.3 *Microscopía Electrónica de Barrido. (MEB).*

En el año 1965 aparece el primer microscopio electrónico de barrido (MEB), creado por la Cambridge Instrument Co, ofreciendo la posibilidad de observar muestras íntegras y en sus tres dimensiones. Desde entonces, este tipo de microscopía ha avanzado rápidamente constituyéndose en una técnica imprescindible en distintos tipos de estudio, tanto sobre material biológico como en el campo inorgánico.

2.3.1.3.1 *Funcionamiento del MEB.*

La microscopía electrónica de barrido (MEB) es una técnica de análisis superficial, que consiste en enfocar sobre una muestra electrodensa (opaca a los electrones) un fino haz de electrones acelerado con energías de excitación desde 0.1kV hasta 30kV¹⁰⁵⁻

El haz de electrones se desplaza sobre la superficie de la muestra realizando un barrido que obedece a una trayectoria de líneas paralelas. La variación morfológica de la muestra entrega diversas señales (electrones secundarios, electrones retrodispersados, emisión de rayos X, etc.) que son recogidas por distintos detectores; los cuales permiten la observación, caracterización y microanálisis superficial de materiales tanto orgánicos como inorgánicos.

El fundamento del MEB radica en que los electrones emitidos por un cátodo de tungsteno pasan a través de una columna en la que se ha hecho un vacío de alrededor de 10^{-7} Torr. En ella, el haz inicial es concentrado por una serie de lentes electromagnéticas (condensadora, objetivo) (figura 9) desde unos 25.000-50.000 nm hasta unos 10 nm; es decir, su diámetro va disminuyendo hasta hacerse casi puntual. Al mismo tiempo, la intensidad de corriente se disminuye desde unos 10-14 Amperios Á hasta unos 10^{-10} - 10^{-12} Á. Esta disminución en la intensidad implica una menor cantidad de electrones primarios ya que la intensidad inicial de 10^{-14} Á supone una emisión de 10^{15} e-/seg, mientras que en la definitiva, de 10^{-12} Á, es de $6 \cdot 10^6$ e-/seg.

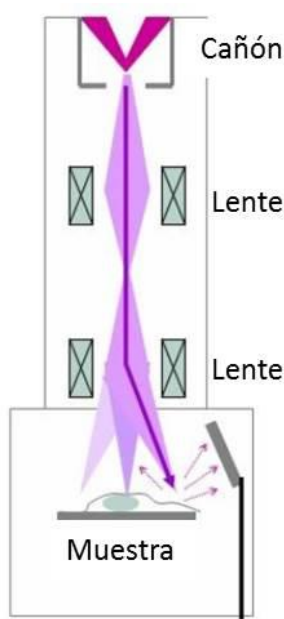


Figura 9. Componentes ópticos del MEB convencional.

El haz electrónico puntual, es desplazado sobre toda la superficie de la muestra a modo de un pincel que iría barriendo la muestra con continuas idas y venidas. Esta motilidad del haz se consigue gracias a un sistema de bobinas de barrido situadas en la columna del instrumento¹⁰⁵⁻¹⁰⁷.

En la interacción del haz electrónico con la superficie se producen electrones (e-) secundarios que, tras ser captados por un detector, son hechos incidir sobre un "scintillator", donde cada e- dará origen a varios fotones. Dichos fotones son dirigidos hasta un fotomultiplicador a través del cañón de luz y, ya en aquél, cada fotón dará origen a un fotoelectrón que, a través de una serie de dinodos con diferencias de potencial crecientes produce, mediante un efecto en cascada, gran cantidad de e- secundarios. En definitiva, lo que se consigue es una amplificación de la corriente debida a los e- secundarios originales, o dicho de otro modo, una amplificación de la información sobre la muestra suministrada de dichos e-. Los e- secundarios, finalmente, previo paso por un videoamplificador, son dirigidos hacia un tubo semejante a un osciloscopio de rayos catódicos (ORC) sobre cuya pantalla se producirá la imagen^{105,106,108}.

Una de las principales características de este instrumento es la existencia de una correspondencia biunívoca (punto a punto) establecida entre la muestra a examinar y la imagen formada, correspondencia que se establece al mismo tiempo, de forma que cubriría a la muestra en series de tiempo, quedando la imagen dividida en muchos elementos fotográficos los cuales serían captados por el sistema fotográfico instalado en el instrumento e integrados en una sola imagen que nos informa sobre la apariencia cúbica de material en estudio.

2.3.1.3.2 *Preparación de muestras.*

Las muestras que conducen la electricidad son las más fáciles de estudiar, ya que la circulación de los electrones permite minimizar los problemas asociados con la generación de carga. Además, las muestras que son buenas conductoras de la

electricidad son también buenas conductoras del calor, lo que minimiza la probabilidad de su degradación térmica. Desafortunadamente, muchos especímenes orgánicos y muchas muestras minerales son no conductores, entre ellos la cerámica.

Por ello se han desarrollado una gran variedad de técnicas que permiten obtener imágenes MEB de muestras no conductoras; de entre ellas, las más comunes implican el recubrimiento de la superficie de la muestra con una película metálica, de un metal de alto número atómico, delgada obtenida por el método conocido como “sputter coating” o por evaporación a vacío, la cual suele aplicarse a las muestras cerámicas, ya que por la porosidad de las mismas es el método más efectivo.

Para realizar el “sputter coating”, el equipo forma una nube de iones argón y átomos de metal descargados de una laminilla, que caen suavemente sobre la muestra cubriéndola uniformemente en toda su topografía. Es un proceso relativamente rápido y se realiza en un equipo especial denominado Sputter Coater

El metal de la laminilla preferentemente es oro o una aleación de oro-paladio. Se escogen estos dos metales por tener la característica de formar partículas muy finas inadvertidas en el MEB, además del alto número atómico de estos metales le imparte mayor conductividad a la muestra emitiendo una señal más fuerte para formar su imagen. El grosor de la capa que llega a formarse sobre la muestra es de aproximadamente 20 nm¹⁰⁵⁻¹⁰⁹.

2.4. Color.

El color es una repuesta psicofísica a la interacción entre una luz con un objeto y la experiencia subjetiva de cada observador¹⁰⁹. El color como fenómeno de luz no es una característica intrínseca de los objetos sino el efecto visual de los rayos de luz pasando sobre ellos¹¹⁰. La percepción del color por parte del ojo humano está relacionada con un espectro de luz visible que penetra en el ojo y estimula los tres tipos de receptores del color que hay en la retina y lo comunica al cerebro a través del nervio óptico¹¹¹.

Respecto a la percepción del color , hay tres factores que infuyen: el origen de la luz, el objeto observado, y el observador¹¹¹.

El origen de la luz emite energía dentro de un rango de ondas, el cual se caracteriza por tener variación en la energía emitida dentro del espectro visible de la luz, cuando la luz choca contra un objeto el reflejo de esta le da el color a el objeto. Este reflejo puede ser representado gráficamente y provee una forma de cuantificar el color numéricamente. La luz visible se compone de fotones cuyas longitudes de onda caen en el rango entre 360 nm y 780 nm. Luz en el longitudes de onda más corta (400 nm) aparece de color azul, mientras que en longitudes de onda más largas 700 nm) aparece en color rojo. Las condiciones lumínicas, no es lo mismo la luz natural que la artificial.

En cuanto al objeto, hay factores que pueden influir como los son los efectos del fondo, descrito por Ardu et al¹¹².

En cuanto al observador, tenemos factores como el daltonismo, la fatiga visual, la edad y otros factores fisiológicos, así como también la interpretación subjetiva de cada observador basándose en sus experiencias previas con el color y la experiencia clínica y la educación sobre el tema del color.

2.4.1 Escalas y sistemas de medición.

Uno de los problemas del color es el transmitirlo a otros, y cuantificarlo, por lo que se han creado diversas escalas.

2.4.1.1 Escala de Munsell.

Munsell, en 1898 fue el primero en describir el color en dimensiones diferentes¹¹¹

.- Luminosidad o valor: Se refiere a la sensación con al que un color parece más luminoso u oscuro que otro, nos indica la luminosidad de un color yendo de negro a blanco. Es a única dimensión que puede ir aislada, no tiene color, ni cromatismo.

.- Cromo (saturación), nos da el grado de saturación o intensidad el color, manifestando mayor o menor pureza.

.- Hue, matiz o tono: se refiere al color propiamente dicho, nos permite distinguir un color de otro. Es a sensación por la cual percibimos las distintas longitudes de onda de la energía radiante. figura 9.

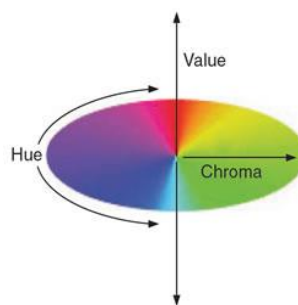


Fig.9. Espacio del color según la Escala de Munsell

2.4.1.2 Comisión internacional de L'éclairage (CIElab)

La comisión internacional de L'éclairage (CIElab) es una organización que se dedica a la estandarización del color, describieron el espacio del color, el cual se basa en la teoría de que la percepción del color está separada en tres receptores del color (rojo, verde y azul) en un espacio tridimensional que contiene tres coordenadas, L^* , a^* , b^* . en donde el valor L expresa la luminosidad variando entre los blancos y los negros, los valores a y b representan la cromaticidad del color, variando entre verde y rojo para los valores a, y entre amarillo y azul para los valores b. Este espacio del color está representado por una esfera en donde L está

representado en el eje de las Y, b está representado en el eje de las X y el valor a en el eje Z, lo cual trae como ventaja que se tiene una posición espacial que matemáticamente puede expresar un color. Figura 10.

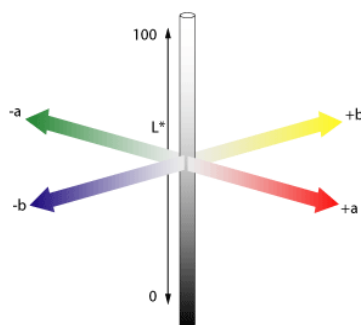


Fig.10. Espacio del color según la Escala CIE Lab.

Este sistema mide la emisión reflejada de colores independientemente de la luz que los rodea y calcula los parámetros del color en los tres ejes del espacio.

Cuando un color es considerado neutro como el blanco y el gris, las coordenadas de a y b tienden a acercarse al cero.

Con el sistema CIE Lab las diferencias entre los colores pueden ser expresadas en términos numéricos a través del ΔE , lo cual es clínicamente significativo. Si ΔE es inferior 1 es imperceptible al ojo humano; si se encuentra entre 1 y 3,3 es visible sólo por observadores experimentados y se considera que es clínicamente aceptable; y si es superior a 3,3, no es clínicamente aceptable, es fácilmente detectable, incluso por observadores no experimentados¹¹³⁻¹¹⁵.

2.4.1.3 CIEDE2000

En 2001 se publicó la fórmula CIEDE2000, que incorpora una serie de correcciones determinadas que no se tenían en cuenta en la fórmula CIE Lab* y tiene en cuenta parámetros relacionados con la influencia de la iluminación y las condiciones

visuales en la evaluación de la diferencia del color, de tal forma que también se incluye la escala de grises y separa los parámetros del color en Luminosidad, Cromo y Tono¹¹⁶.

2.4.2 Medición de color.

Muchos métodos se han usado para determinar el color, uno subjetivo con el uso de guías de colores en papel, cerámicas, resinas acrílicas o uno objetivo usando instrumentos como colorímetros y espectrofotómetros y técnicas de análisis de imágenes¹¹⁷.

2.4.3.1 Guías de color.

La determinación visual del color a través de una comparativa entre el diente y las guías de color estandarizadas es el método más frecuentemente usado por los odontólogos. Las guías de color consisten en tabletas que contienen formas similares a incisivos centrales de diferentes colores, figura 11, que se comparan con el tercio medio del diente natural hasta conseguir el más similar. **Error! Marcador no definido..**



Fig.11. Guía de color3D Master.

Es un proceso subjetivo en donde el diente y la guía de colores son observados simultáneamente por el operador, bajo unas mismas condiciones de iluminación, pero

es influenciado por variables como la edad del operador, su experiencia, fuente de luz, fatiga, entre otras lo cual nos puede conducir a una selección de color inapropiada, además de que es difícil de comunicarlo a otra persona, como el técnico de laboratorio, de una manera exacta.

Algunas guías de color para prótesis comúnmente sirven como el estándar de color para comparar con un diente. Algunas desventajas descritas utilizando las guías de color como por ejemplo el rango de colores en las guías no cubren todos los colores del diente natural; los colores de la guía no son sistemáticos con el espacio del color al que corresponden; no hay consistencia entre los dentista a la hora de escoger el color; los resultados no pueden ser transformados a la escala del color CIELab, ninguna de las guías que están en el mercado son idénticas. A pesar de estas limitaciones es una forma rápida y que provee una relación coste-beneficio satisfactoria para muchos clínicos. Además de esto se debe tener en consideración que en el diente natural el color varía desde el tercio gingival hasta el incisal, sus diferentes curvas de reflexión y texturas superficiales, la inestabilidad del color de las guías acrílicas, ya que algunos desinfectantes las pueden afectar y por último la variación de color entre los lotes de producción de la resina acrílica o de la cerámica.

2.4.3.2. Espectrofotómetros.

Tanto en la industria como en la investigación la obtención de las coordenadas cromáticas CIELab es una forma de evaluar objetivamente el cumplimiento de los requisitos de deseados para sus productos. Para esto la mayoría emplean espectrofotómetros, figura X lo que les permite medir el color en un rango amplio de materiales y sustratos. A pesar de estas limitaciones es una forma rápida y que provee una relación coste-beneficio satisfactoria para muchos clínicos¹¹⁸⁻¹²⁰.

El espectrofotómetro es un instrumento que mide el color reflejado mediante una sonda con siete fibras ópticas, seis en el exterior encargadas e iluminar el objeto y una fibra central para leer el color reflejado, mide la longitud de onda de trasmisión o reflexión de un objeto, para cada longitud de onda, de las radiaciones que componen el espectro visible (entre 380 y 780nm) y los datos son convertidos a las escalas que maneja el CIElab. Es usado para medir el espectro visible de los dientes naturales y extraídos, pero su uso clínico se ha visto limitado por los costos y lo complejo del equipamiento¹²¹⁻¹²². (figura 12).



Fig.12. Espectrofotómetro.

2.4.2.3 Colorímetros.

Tienen filtros de color aproximados al espectro funcional del ojo de un observador estándar y generalmente miden el color dentro de los valores CIElab, en los tres ejes del espacio X, Y, Z , por lo que ha sido usado en la mayor parte de los estudios in vivo, relacionados al color en dientes, figura 13. Se han hecho comparaciones de las mediciones que hace con las lecturas del espectrofotómetro y se consideran confiables, tanto para estudios in vivo, como in vitro.



Fig.13. Colorímetro.

Dentro de sus desventajas se encuentra que ha sido diseñado para medir superficies planas y los dientes frecuentemente tienen superficies irregulares. A pesar de estas limitaciones es una forma rápida y que provee una relación coste-beneficio satisfactoria para muchos clínicos. No registran reflectancia espectral y pueden ser menos precisos que los espectrofotómetros¹¹⁹.

3.- Hipótesis.

3.1. Hipótesis nula:

H₀₁: La rugosidad superficial del disilicato de litio estudiado no varía con los sistemas de pulido empleados.

H₀₂: El color de la cerámica de disilicato de litio estudiada no varía en relación a las diferentes superficies tratadas.

H₀₃: El color de la cerámica de disilicato de litio estudiada no varía en relación a las diferentes sustancias pigmentantes utilizadas.

3.2. Hipótesis alternativas:

H₀₁: La rugosidad superficial del disilicato de litio estudiado varía con los sistemas de pulido empleados.

H₀₂: El color de la cerámica de disilicato de litio estudiada varía en relación a las diferentes superficies tratadas.

H₀₃: El color de la cerámica de disilicato de litio estudiada varía en relación a las diferentes sustancias pigmentantes utilizadas.

4.- Objetivos.

4.1. Objetivo principal:

Determinar la estabilidad del color de las cerámicas de disilicato de Litio.

4.2. Objetivos secundarios:

1. Determinar y comparar la rugosidad superficial de las cerámicas de Disilicato de litio, (IPS e.max CAD Ivoclar Vivadent, Shaan, Liechtenstein), dependiendo de los sistemas de tratamiento de superficie (reglaseado, pulido con gomas de silicona, discos, cepillos y piedras abrasivas) posterior a la remoción de la capa de glaseado.

2. Determinar y comparar la estabilidad del color de las cerámicas de disilicato de litio, (IPS e.max CAD Ivoclar Vivadent, Shaan, Liechtenstein), dependiendo de los métodos de tratamiento de la superficie (reglaseado, pulido con gomas de silicona, discos, cepillos y piedras abrasivas) posterior a la remoción de la capa de glaseado, pasadas 1, 2, 3 y 4 semanas.

3. Determinar y comparar el efecto de tinción de sustancias pigmentantes de ingesta frecuente, (café, té y vino tinto), en relación a la estabilidad del color de las cerámicas de disilicato de litio, (IPS e.max CAD Ivoclar Vivadent, Shaan, Liechtenstein), pasadas 1, 2, 3 y 4 semanas.

5.- Material y métodos.

El material base empleado en este trabajo fue la cerámica vítrea de disilicato de litio $\text{SiO}_2\text{Li}_2\text{O}_1$ (LS2), IPS e max[®] CAD. (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein), en la presentación comercial de bloques prefabricados para fresar con la técnica CAD/CAM. Estos bloques se fabrican mediante un colado masivo y continuo de pastillas de vidrio transparente, a los que se les realiza una cristalización parcial, que lleva a la formación de cristales de metasilicato de litio $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_3$. Estos bloques de color azulado, parcialmente cristalizados, son la base desde donde partimos en la elaboración de este trabajo, en su versión LT. Fueron bloques de baja traslucidez y color A3, de la guía Vita clásica. (figura 14).



Figura 14. Bloque de Disilicato de Litio, parcialmente cristalizado.

A continuación se describirá de manera pormenorizada la confección de las muestras cerámicas, su tratamiento de superficie, los grupos confeccionados y los medios para su evaluación.

5.1. Tamaño y preparación de las muestras:

Tamaño de muestra: Calculamos el tamaño de la muestra a partir de una prueba piloto realizada con discos de cerámica. Consideramos un tipo de test bilateral. Fijamos un nivel de confianza o seguridad del 95% y un poder estadístico del 90%. Considerando una precisión (valor mínimo de la diferencia que se desea detectar) de un ΔE de 0,50 y una varianza de 0,10 resultó un tamaño de muestra mínimo de 8

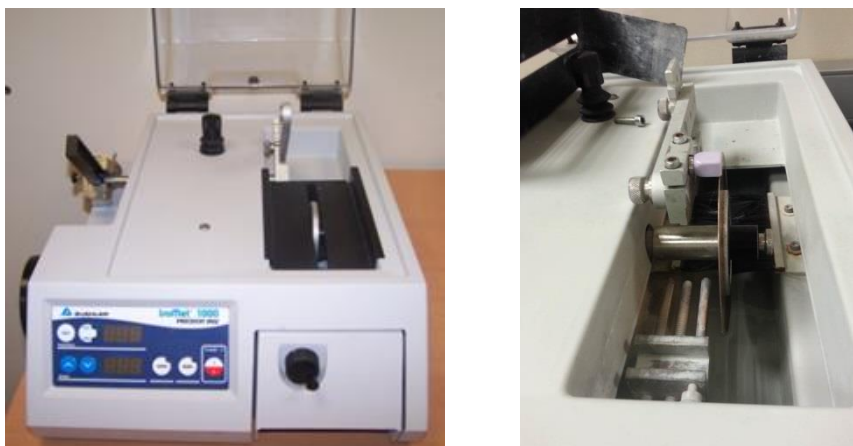
muestras por grupo. Consideramos que podíamos perder un 15% de las muestras por motivos ajenos a la investigación, por lo que resultó una muestra mínima ajustada a las pérdidas de 10 por grupo. Por consiguiente se confeccionaron un total de 240 muestras.

Para la preparación de las muestras se emplearon los materiales que se detallan en la tabla 6.

Nombre Comercial	Tipo de material	Batc h#LOT	Fabricante
IPS e.max® CAD	Cerámica de disilicato de litio	ref #605320 LOT S27018	Ivoclar Vivadent. Shaan. Liechtenstein.
IPS e.max® ceram	Glaze	ref #597041 LOT T38774	Ivoclar Vivadent. Shaan. Liechtenstein.
	Piedra diamantada		Komet gebr brasseler &co KG Lemgo, Germany
Sof-Lex TM	Discos	REF 2380	3M ESPE Deutschland GmbH. Neuss. Germany
Dura- Green stones	Piedras	LOT 0614343 CODE F0030104	Shofu INC. Kyoto. Japan
OptraFine®	Sistema de pulido de diamante	REF# 601989AN LOT SL1794	Ivoclar Vivadent. Shaan. Liechtenstein.
Occlubrush	Cepillos	LOT 2504	KerrHawe SA. Bioggio. Switzerland

Tabla 6. Materiales usados en el estudio.

A los bloques de cerámica IPS e max® CAD. Ivoclar Vivadent, (Schaan, Liechtenstein), se les realizaron cortes axiales de 2mm de grosor, mediante la máquina de corte de precisión Isomet® 1000 (Büeler, Alemania), (figuras 15a y 15b). Los cortes fueron calibrados a 2,3mm para compensar el grosor del disco diamantado con el que se realizaron, a una presión constante y una irrigación con agua.



Figuras 15a y 15b máquina de corte de precisión Isomet® 1000

Las muestras obtenidas fueron comprobadas una a una con un pie de rey y descartadas las que no cumplían con el tamaño y grosor determinados.

Una vez cortadas y calibradas, se procedió a su acabado con gomas de pulir de grano medio, fino y extrafino a cristalización total en un horno Programat® P300 Ivoclar Vivadent, (Schaan, Liechtenstein) según recomendaciones del fabricante. (Figura 16).

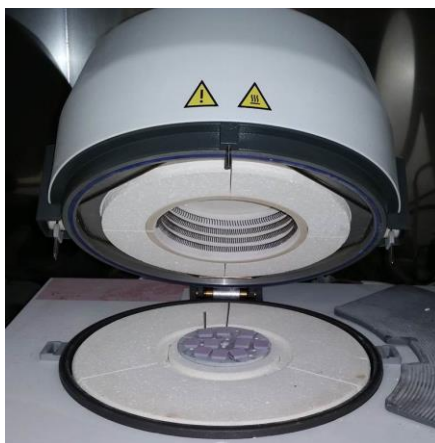


Figura16. Muestras dentro del Horno Programat®.

En total se cristalizaron 240 muestras, a una temperatura de 840°C (1544° F), durante 20 minutos, cumpliendo con la norma ISO 6872.

Al sacarlas del horno fueron limpiadas con vapor, para eliminar cualquier residuo. Posteriormente se pulieron con gomas de pulido, limpiadas de nuevo con vapor y se les aplicó el glaseado IPS e max® Ceram glaze paste, Ivoclar Vivadent, (Schaan, Liechtenstein). Fueron nuevamente llevadas al horno para la cocción de la capa de glaseado, a una temperatura inicial de 430°C.

Finalizado el glaseado, se dividieron en seis grupos de 40 muestras cada uno, correspondiente a cada tratamiento de superficie a realizar. Estos a su vez, fueron subdivididos en subgrupos de 10 muestras cada uno, de acuerdo al líquido con el que se iban a sumergir para realizar el proceso de tinción. (tabla 6).

Tratamiento superficie / Sustancia pigmentante	Glazed (G)	ReGlazed (RG)	Discs (D)	Stones (ST)	Diamond polish system (DPS)	Brushes (B)
Agua destilada (AD)	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10
Café (CF)	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10
Té (TE)	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10
Vino tinto (VT)	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10

Tabla 6. Distribución de los grupos experimentales.

5.2. Tratamiento de superficie.

A cada grupo se le aplicó un tratamiento de superficie, tal como se describe a continuación, siendo un único operador experto y previamente calibrado el encargado de procesar cada una de las muestras:

Grupo 1: Glaseadas (Glazed)(G): muestras glaseadas, fue el grupo control, no se le aplicó ningún tratamiento de superficie adicional.

A todos los demás grupos, se les removió el glaseado, con una turbina, a alta velocidad y refrigeración constante, durante 10 segundos a una presión constante, usando una piedra diamantada Komet, No. 4228 (ebr.Brasler GmbH, Germany), cuya parte activa abarcaba toda la extensión de la superficie de la muestra. Se empleó una fresa por cada cinco muestras.

Una vez que se hizo el desgaste, se realizó un acabado con tres gomitas de pulir cerámicas, durante 15 segundos cada una y se procedió a realizar un tratamiento de pulido diferente, de acuerdo con el grupo de estudio:

Grupo 2: reglaseadas (Reglaze) (RG): se reglasearon usando el IPS e max Ceram® glaze paste Ivoclar Vivadent, (Schaan, Liechtenstein), de acuerdo a las indicaciones del fabricante.

Grupo 3: Discos (Discs) (D): se pasaron discos de pulir. Son discos de pulido flexibles con recubrimiento de óxido de aluminio, compuesto por cuatro discos de diferente capacidad abrasiva (150, 360, 600 y 1200 granos). (figura 18).



Figura 18. SOF LEX - 3M ESPE.

Se usó un disco de cada tipo por muestras, empleando un movimiento de pulido constante y unidireccional y siguiendo las indicaciones del fabricante. (tabla 7).

Proceso	Reducción Inicial	Contorneado	Acabado	Pulido
Velocidadrpm	10.000	10.000	30.000	30.000
Tiempo	15 segundos	15 segundos	15 segundos	15 segundos
Discos	Naranja oscuro	Naranja intermedio	Naranja Claro	Amarillo

Tabla 7. Sistema de Pulido SOF LEX Discs- 3M ESPE.

Grupo 4: Piedras (Stones) (ST): Se utilizaron piedras abrasivas, Shofu Dura-Green Stone Inc. (Kyoto Japan), una por muestra, empleando un movimiento constante y unidireccional y siguiendo las indicaciones del fabricante, a una velocidad de 10.000rpm durante 15 segundos a una presión constante. (Figura 17).



Figura. 17. Shofu Dura-Green Stones.

Grupo 5: Sistema de pulido diamantado (Diamond polishing system) (DPS): OptraFine®, Ivoclar Vivadent. Schaan, Liechtenstein, (Figura 18). Este sistema está compuesto por gomas de dos grados abrasivos diferentes, un cepillo y una pasta diamantada. Se empleó una por cada muestra. De acuerdo a las indicaciones del fabricante, se pasó la goma de acabado (F) y la de pulido (P) a 10.000 rpm con abundante agua y posteriormente el cepillo de nylon con pasta de diamante a una velocidad entre 7.000 a 10.000 rpm sin agua.



Figura 18. OptraFine, Ivoclar Vivadent.

Grupo 6 Cepillos (Brushes) (B): se emplearon cepillos impregnados de pasta diamantada, Hawe Occlubrush. KERR. (Mfg. Co., Romulus, Mich), (Figura 19) a una velocidad de 10.000rpm, durante 15 segundos, en ausencia de agua.



Figura 19. Hawe Occlubrush.

Una vez hechos todos los tratamientos de superficies, las muestras fueron limpiadas con vapor, a fin de eliminar residuos y almacenadas en seco en placas de cultivo, separadas por tratamiento de superficie.

5.3. Determinación de la rugosidad superficial.

Se realizó un análisis cuantitativo, óptico sin contacto, para lo que se empleó la microscopía confocal láser y un análisis cualitativo por medio de la microscopía electrónica de barrido (MEB).

5.3.1. Microscopía confocal: de cada grupo de estudio se seleccionaron, de manera aleatoria, 3 muestras y se analizaron con el microscopio confocal Leica DCM 3D, Leica Microsystems, (Viena, Austria). (Figura 20) en la unidad de técnicas nanométricas, en el Centro Científico y Tecnológico de la Universitat de Barcelona. (CCiT-UB).



Figura 20. Microscopio confocal Leica DCM3D.

En cada muestra se realizaron tres mediciones: dos mediciones a un aumento de 50X, en puntos aleatorios y una medición a un aumento de 10X.

Los datos obtenidos fueron analizados con el programa Leica Maps. Leica Microsystems, (Viena, Austria). De cada punto estudiado y en cada uno de los aumentos, se obtuvo una imagen 2D, una imagen 3D y un análisis de 7 parámetros volumétricos, de estudio de la superficie, de acuerdo a la norma ISO 25178 (Tabla 8).

Símbolo	Nombre
Sa	Rugosidad media cuadrática
Sq	Rugosidad media cuadrática
Ssk	Skewness
Sku	Kurtosis
Sz	Altura Máxima de la superficie
Sp	Altura Máxima del pico
Sv	Profundidad máxima del valle

Tabla 8. Parámetros volumétricos obtenidos.

5.3.2. Microscopía electrónica de barrido: de cada grupo de estudio, se seleccionó de forma aleatoria una muestra para ser analizada con el microscopio electrónico de barrido (MEB) Quanta 200, FEI Co. (Oregon, USA), de la Unidad de Microscopía de Rastreo, en el Centro Científico y Tecnológico de la Universitat de Barcelona. (CCiT-UB). (figura 21)



Figura 21. Microscopio electrónico de barrido Quanta 200, FEI Co.

Ya que para el análisis con el MEB se necesitaba que las muestras fueran conductoras, es decir que permanezcan a un potencial cero durante su observación y las muestras de disilicato de litio no lo eran, tuvieron que ser montadas sobre el porta-muestras del microscopio con la ayuda de un disco bioadhesivo conductor. Posteriormente, se recubrieron con una fina capa de grafito para mejorar su conductividad eléctrica (figura 22). Este recubrimiento se realizó en condiciones de alto vacío con el evaporador Polaron E6700 Quorum Technologies (East Sussex, England). Las muestras fueron posicionadas, siguiendo un orden correlativo, según el grupo al que pertenecían.



Figura 22. Muestras preparadas para ser analizadas en el SEM.

Una vez posicionadas las muestras dentro del (MEB), se enfocaba y se obtenía la imagen. Se obtuvieron imágenes, a 500, 1000 y 2000 aumentos en dos puntos diferentes, para cada muestra.

Las imágenes fueron codificadas y guardadas, para su posterior análisis.

5.4. Toma del color.

Posterior al análisis de la rugosidad de las muestras, se volvieron a organizar los grupos y se procedió a la toma del color inicial. Se utilizó un espectrofotómetro, Vita Easy Shade® Compact. VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG Germany. (Figura 23).



Figura 23. Vita Easy Shade® Compact.

Las mediciones se establecieron en las coordenadas matemáticas a las que se refiere el espacio de color, según el CIE-Lab, (Commission Internacional de L'Éclairage L^*, a^*, b^*), en donde el valor L expresa la luminosidad variando entre los blancos y los negros, los valores a y b representan la cromaticidad del color, variando entre verde y rojo para los valores a, y entre amarillo y azul para los valores b. Este espacio del color está representado por una esfera en donde L está representado en el eje de las Y, b está representado en el eje de las X y el valor a en el eje Z, lo cual trae como ventaja que se tiene una posición espacial que matemáticamente puede expresar un color. (figura 24).



Figura 24. Valores de una medición hecha según el espacio CIE Lab.

Cada muestra se colocaba encima de un fondo oscuro (negro), y se procedía a realizar la medición inicial, en el centro de la muestra. Estas primeras mediciones se correspondieron a T0. Previo al registro, se procedía a calibrar el espectrofotómetro, utilizando la placa cerámica blanca que viene en la base del mismo. (figura 25)



Figura 25. Calibración de espectrofotómetro.

Las muestras se fueron colocando en placas de cultivo de 24 pocillos, con capacidad de 2ml de solución pigmentante para cada pocillo. Se identificó cada grupo de acuerdo a la superficie y a la sustancias pigmentante. (figura 26). En cada placa de

cultivo, sólo se colocó una única solución pigmentante a fin de evitar posibles perjuicios a las muestras durante su manipulación.



Figura 26. Placas de cultivo que almacenaron las muestras.

La preparación de las sustancias pigmentantes se hizo de la manera que se observa en la (Tabla 8).

	Datos comerciales	Cantidad por pocillo	Preparación
Agua destilada (AD)	ASH. Quicesa. Guadalajara. España.	2ml por cada pocillo	La envasada comercialmente
Café (CF)	Nescafé. Nestlé España, S.A. Esplugues de Llobregat. Barcelona, España.	2ml por cada pocillo,	100ml de agua y 4gr de café
Té (TE)	Twinings TM. London U.K.	2ml por cada pocillo	100ml de agua y una bolsa de té
Vino tinto (VT)	Vino tinto Don Mendo Cariñeña. Bodegas San Valero. Cariñena. España	2ml por cada pocillo	La envasada comercialmente

Tabla 8. Sustancias Pigmentantes.

Estos líquidos eran cambiados y las cajas limpiadas cada 3 días, para evitar el crecimiento de hongos en los mismos. Las jeringas y los vasos donde se preparaban los líquidos estaban identificados, a fin de evitar que pudieran mezclarse. (figura 26)



Figura 26. Vasos y jeringas para el cambio de sustancias pigmentantes.

Una vez cubiertas con los líquidos pigmentantes, las placas se cerraban y se colocaban dentro de una incubadora Memmert, (Schwabach, Alemania)(figura 28). Se mantuvieron en oscuridad, a $37^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$, durante 1 semana. Durante este período, se lavaban las cajas y se cambiaban la sustancias pigmentantes, cada tres días.



Figura 28. Placas de cultivo dentro de la incubadora.

Pasada la semana se retiraron de la incubadora las muestras y se limpiaron. El protocolo de limpieza establecido fue el siguiente: se pasaron cada una de las muestras por tres recipientes de agua destilada, sumergiéndolas tres veces en cada uno y posteriormente secándolas con un papel absorbente. Posterior al secado se procedió al registro del color.

Hechas las mediciones, las muestras se volvieron a colocar en las placas de cultivo, con sustancias pigmentantes nuevas, y se siguió el mismo procedimiento de medición pasada 1 semana (T1), 2 semanas (T2), 3 semanas (T3) y 4 semanas (T4).

Todas las mediciones obtenidas en las coordenadas L, a, b, fueron registradas y la variación del color se analizó a través de la ecuación de Hunter:

$$\text{Eq.1 } \Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

5.5. Análisis estadístico.

Los datos fueron recogidos en una hoja de Excel que previamente se había diseñado y en la que estaba cargada la fórmula de Hunter.

El método estadístico utilizado para estudiar todos los grupos, involucrando los factores tiempo, sustancia pigmentante y tratamiento de superficie fue el ANOVA multifactorial, previa comprobación de la existencia de normalidad en todas las muestras estudiadas mediante el test de Saphiro-Wilks y de la existencia de homocedasticidad con el test de Levene.

Para estudiar el comportamiento de cada grupo a lo largo del tiempo se utilizó un análisis de ANOVA de medidas repetidas, al igual que para evaluar el comportamiento de los tipos de cerámicas a lo largo del tiempo. Para determinar las diferencias existentes entre los grupos se utilizó el test LSD de Fisher.

Se analizaron los datos mediante el software StatGraphics Plus 5.1. La significación estadística se fijó en $P < 0,05$ y el intervalo de confianza en un 95%.

6.- Resultados.

En las 240 muestras realizadas, divididas en seis grupos, de acuerdo a los tratamientos de superficies aplicados, y subdivididas en subgrupos de 10 muestras, de acuerdo a las sustancias pigmentantes, se realizaron determinaciones cuantitativas para la medición de los parámetros volumétricos tridimensionales de la superficie tras los distintos procedimientos de pulido y para la determinación de las variaciones del color en las muestras tras la aplicación de varias sustancias pigmentantes. Se evaluaron también parámetros cualitativos con el microscopio electrónico de barrido y con el microscopio confocal.

A continuación se realizará este análisis y su interpretación. En aras de una mayor claridad en la presentación de los datos, se han subdividido en tres grandes apartados: análisis de los parámetros de superficie, presentación de las imágenes obtenidas con el microscopio electrónico de barrido y con el confocal y, finalmente, análisis de la estabilidad del color y sustancias pigmentantes.

6.1. Análisis de los parámetros volumétricos del estudio de la superficie:

Como se comentó en el apartado de materiales y métodos, la determinación de los parámetros volumétricos se realizó con dos aumentos, 10X y 50X, por lo que cada uno de los parámetros se analizó a estas magnificaciones. Los valores obtenidos fueron expresados en micras (μm)

6.1.1. Parámetros medidos a una magnificación de 10X.

Al hacer un análisis de estos parámetros, en los distintos tratamientos de superficie se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre casi todos ellos ($p < 0.0001$), a excepción del parámetro Skewness (ssk) ($p = 0,5846$), el cual expresa

simetría de los picos y valles sobre la superficie medida, y el parámetro Curtosis (Sku) ($p=7002$), el cual determina la nitidez de una superficie. (Tabla 9)

Parámetro	P valor
Sa	0,0000
Sq	0,0000
Sz	0,0000
ssk	0,5846
Sku	0,7002
Sp	0,0000
Sv	0,0001

Tabla X. Relación de los tratamientos de superficie y los parámetros volumétricos a 10X

6.1.1. 1. Parámetro de rugosidad media (Sa).

En la tabla X se muestra la estadística descriptiva de los valores obtenidos al estudiar el parámetro de rugosidad media.

Tratamiento Superficie	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Brush	7,535	1,5326	20,3398%	5,42	9,42	4,0
DPS	5,28	0,757522	14,347%	4,57	6,65	2,08
Discs	4,77333	0,983497	20,604%	3,28	6,16	2,88
Glazed	1,16667	0,772675	66,2293%	0,67	2,69	2,02
Reglazed	2,83667	0,470177	16,575%	2,16	3,44	1,28
Stones	2,73667	0,851227	31,1045%	2,17	4,34	2,17

Tabla 9 Estadística descriptiva de la rugosidad media a 10X.

Mediante el ANOVA se determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p=0.0001$). Tabla 10

Origen	F-Ratio	p-valor
Entre grupos	34,05	0,0001

Tabla 10. p valor de la rugosidad media a 10X.

El grupo glazed fue el que menos rugosidad media mostró, seguido de los grupos stones y reglazed, que no muestran diferencias entre ellos. Posteriormente se encontraron los grupos discs y DPS, que tampoco son distintos, y finalmente el grupo que mostraba una media significativamente mayor fue el grupo Brush. Tabla 11.

Grupo	Media (DE)	Homogeneidad
Glazed	1,17 (0,77)	a
Stones	2,73 (0.85)	b
Reglazed	2,83 (0,47)	b
Discs	4,77 (0,98)	c
DPS	5,28 (0.75)	c
Brush	7,53 (1,53)	d

Tabla 11. Valores de Sa por tratamiento de superficie.

6.1.1. 2. Parámetro de rugosidad media cuadrática (Sq).

En la tabla 12 se muestra la estadística descriptiva de los valores obtenidos al estudiar el parámetro de rugosidad media cuadrática.

Tratamiento Superficie	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Brush	9,50333	1,81718	19,1215%	6,61	11,6	4,99
DPS	6,6	0,96258	14,5845%	5,64	8,33	2,69
Discs	6,37833	1,36829	21,4522%	4,38	8,53	4,15
Glazed	1,43167	0,829275	57,9237%	0,84	3,06	2,22
Reglazed	3,47833	0,524497	15,079%	2,85	4,27	1,42
Stones	3,49	0,988271	28,3172%	2,85	5,37	2,52

Tabla 12. Estadística descriptiva de la rugosidad media cuadrática a 10X.

Mediante el ANOVA se determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p=0.0001$). Tabla 13

Origen	F-Ratio	p-valor
Entre grupos	37,56	0,0001

Tabla 13. p valor de la rugosidad media cuadrática a 10X.

El grupo glazed es el que menos rugosidad media cuadrática mostró, seguido de los grupos stones y reglazed, que no mostraron diferencias entre ellos. Posteriormente se encuentran los grupos discs y DPS, que tampoco son distintos, y finalmente el grupo que mostraba una media significativamente mayor fue el grupo Brush Tabla 14.

Grupo	Media (DE)	Homogeneidad
Glazed	1,43(0,82)	a
Reglazed	3,47(0,52)	b
Stones	3,49(0,98)	b
Discs	6,38 (1,36)	c
DPS	6,6 (0,96)	c
Brush	9,5 (1,81)	d

Tabla 14. Valores de Sq por tratamiento de superficie.

6.1.1. 3. Parámetro de altura máxima de la superficie (Sz).

En la tabla 15 se muestra la estadística descriptiva de los valores obtenidos al estudiar el parámetro de altura máxima de la superficie.

Tratamiento Superficie	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Brush	61,085	7,81315	12,7906%	48,85	69,89	21,04
DPS	64,0042	22,9697	35,8879%	47,01	104,435	57,425
Discs	57,2183	11,314	19,7734%	44,47	73,72	29,25
Glazed	9,10333	5,79728	63,6831%	4,8	20,49	15,69
Reglazed	16,53	2,71879	16,4476%	13,22	19,76	6,54
Stones	27,3833	7,80044	28,4861%	18,55	39,47	20,92

Tabla 15. Estadística descriptiva de la altura máxima de superficie a 10X.

Mediante el ANOVA se determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p=0.0001$). Tabla 16

Origen	F-Ratio	p-valor
Entre grupos	26,20	0,0001

Tabla 16. p valor de la altura máxima de superficie a 10X.

Al comparar la altura máxima de la superficie, en todos los grupos estudiados, se observa que el grupo glazed y reglazed presentan la media más baja. Le siguen en el grupo stones, que presenta significativamente mayor altura máxima que el grupo glazed, pero no que el grupo reglazed. Le siguen de forma significativa el grupo discs, brush y DPS, que no presentan diferencias entre ellos. (Tabla 17)

Grupo	Media (DE)	Homogeneidad
Glazed	9,10 (5,79)	a
Reglazed	16,53 (2,71)	ab
Stones	27,38 (7,80)	b
Discs	57,21 (11,31)	c
Brush	61,08 (7,81)	c
DPS	64 (22,96)	c

Tabla 17. Valores de Sz por tratamiento de superficie.

6.1.1. 4. Parámetro Skewness (Ssk).

En la tabla 18 se muestra la estadística descriptiva de los valores obtenidos al estudiar el parámetro Skewness.

Tratamiento Superficie	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Brush	0,191667	0,34026	177,527%	-0,36	0,6	0,96
DPS	-0,075	0,395664	-527,552%	-0,42	0,64	1,06
Discs	0,283333	1,12552	397,241%	-1,07	1,85	2,92
Glazed	0,161667	0,746657	461,85%	-0,69	1,32	2,01
Reglazed	-0,281667	0,758562	-269,312%	-1,68	0,39	2,07
Stones	-0,256667	0,326721	-127,294%	-0,66	0,22	0,88

Tabla 18. Estadística descriptiva del Skewness a 10X.

Mediante el ANOVA se determinó que no existían diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p > 0.005$). Tabla 19

Origen	F-Ratio	p-valor
Entre grupos	0,76	0,5846

Tabla 19. p valor del Skewness a 10X.

Al comparar la simetría de los picos y valles sobre la superficie medida (Ssk), en todos los grupos estudiados, se observan valores con muy poca diferencia entre ellos, que oscilan entre 0,28 μm y -0.28 μm . Al aplicar el análisis de varianza no se observan diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). En el test de contraste de múltiples rangos (LSD) se observa, obviamente, la homogeneidad entre todos los grupos. Tabla 20.

Grupos	Media (DE)	Homogeneidad
Reglazed	-0,28 (0,75)	a
Stones	-0,26 (0,32)	a
DPS	-0,07 (0,39)	a
Glazed	0,16 (0,74)	a
Brush	0,19 (0,34)	a
Discs	0,28 (1,12)	a

Tabla 20. Valores de Ssk por tratamiento de superficie.

6.1.1. 5. Parámetro Curtosis (Sku).

En la tabla 21 se muestra la estadística descriptiva de los valores obtenidos al estudiar el parámetro Curtosis.

Tratamiento Superficie	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Brush	3,40667	0,814314	23,9035%	2,74	4,97	2,23
DPS	4,25333	3,12082	73,3735%	2,58	10,58	8,0
Discs	7,305	4,89119	66,9568%	4,16	17,06	12,9
Glazed	5,71	5,03975	88,2618%	1,77	15,33	13,56
Reglazed	5,305	6,64279	125,217%	2,03	18,85	16,82
Stones	4,70667	2,07547	44,0964%	3,15	8,81	5,66

Tabla 21. Estadística descriptiva de la curtosis a 10X.

Mediante el ANOVA se determinó que no existían diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p > 0.005$). Tabla 22

Origen	F-Ratio	p-valor
Entre grupos	0,60	0,7002

Tabla 22. p valor de la curtosis a 10X.

Al comparar los valores obtenidos en este parámetro, se observó que el grupo brush presentaba el valor más bajo (3,40 μm) y el grupo disc el más alto (7,30 μm). No se observan diferencias estadísticamente significativas en la ANOVA ($p > 0.05$). Al aplicar el test de contraste de múltiples rangos (LSD) se observa también la homogeneidad entre todos los grupos. Tabla 23.

Grupos	Media (DE)	Homogeneidad
Brush	3,40 (0,81)	a
DPS	4,25 (3,12)	a
Stones	4,70 (2,07)	a
Reglazed	5,30 (6,64)	a
Glazed	5,71 (5,03)	a
Discs	7,30 (4,89)	a

Tabla 23. Valores de Sku por tratamiento de superficie.

6.1.1. 6. Parámetro altura máxima del pico (S_p).

En la tabla 24 se muestra la estadística descriptiva de los valores obtenidos al estudiar el parámetro de altura máxima del pico.

Tratamiento Superficie	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Brush	44,7117	6,63065	14,8298%	34,57	53,35	18,78
DPS	52,1383	23,6533	45,3664%	30,1	91,4	61,3
Discs	48,9917	13,1144	26,7686%	25,55	58,96	33,41
Glazed	8,16333	8,5661	104,934%	2,93	25,37	22,44
Reglazed	16,1267	4,76943	29,5748%	7,82	21,08	13,26
Stones	24,9783	12,605	50,4636%	9,09	45,72	36,63

Tabla 24 Estadística descriptiva de la altura máxima del pico a 10X.

Mediante el ANOVA se determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p = 0.0001$). Tabla 25

Origen	F-Ratio	p-valor
Entre grupos	12,04	0,0001

Tabla 25. p valor de la altura máxima del pico a 10X.

Al comparar los valores máximos de la altura del pico, en todos los grupos estudiados, se observa que el grupo glazed y reglazed presentan la media más baja. Le siguen el grupo stones, que presenta significativamente mayor altura máxima que el grupo glazed, pero no que el grupo reglazed. Le siguen de forma significativa el grupo discs, brush y DPS, que no presentan diferencias entre ellos Tabla 26.

Grupos	Media (DE)	Homogeneidad
Glazed	8,16 (8,56)	a
Reglazed	16,12 (4,76)	ab
Stones	24,97 (12,60)	b
Brush	44,71 (6,63)	c
Discs	48,99 (13,11)	c
DPS	52,13 (23,65)	c

Tabla 26. Valores de Sp por tratamiento de superficie.

6.1.1.7. Parámetro del valor máximo de profundidad del valle. (Sv).

En la tabla 27 se muestra la estadística descriptiva de los valores obtenidos al estudiar el parámetro de valor máximo de la profundidad del valle.

Tratamiento Superficie	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Brush	37,9067	11,3762	30,0111%	29,75	59,89	30,14
DPS	33,4	17,5296	52,4839%	19,65	67,36	47,71
Discs	42,985	16,6881	38,823%	25,24	66,87	41,63
Glazed	7,25833	3,51157	48,3799%	4,1	14,05	9,95
Reglazed	16,8183	13,4674	80,0757%	7,63	43,77	36,14
Stones	16,2733	4,58755	28,1906%	8,62	21,82	13,2

Tabla 27. Estadística descriptiva del valor máximo de la profundidad del valle a 10X.

Mediante el ANOVA se determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p=0.0001$). Tabla 28

Origen	F-Ratio	p-valor
Entre grupos	7,86	0,0001

Tabla 28. p valor del valor máximo de la profundidad del valle a 10X.

Al comparar los valores máximos de profundidad del valle, obtenidos en este parámetro, se observa que los grupos glazed, stones y reglazed obtuvieron un valor máximo de la profundidad del valles significativamente menor que los medidos en los grupos DPS, brush y discs. Tabla 29.

Grupos	Media (DE)	Homogeneidad
Glazed	7,26 (3,51)	a
Stones	16,27 (4,58)	a
Reglazed	16,81 (13,46)	a
DPS	33,4 (17,52)	b
Brush	37,90 (11,37)	b
Discs	42,99 (16,68)	b

Tabla 29. Valores de Sv por tratamiento de superficie.

6.1.2. Parámetros medidos a una magnificación de 50X.

Al hacer un análisis de estos parámetros, en los distintos tratamientos de superficie se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre casi todos ellos (p-valor=0,0001) a excepción del parámetro Skewness (ssk) (p-valor= 0,116), el cual expresa simetría de los picos y valles sobre la superficie medida, y el parámetro Curtosis (Sku) (p-valor=0,700) el cual determina la nitidez de una superficie. (Tabla 30).

Parámetro	P valor
Sa	0,0000
Sq	0,0000
Sz	0,0000
Ssk	0,1164
Sku	0,7002
Sp	0,0000
Sv	0,0001

Tabla 30. Relación de los tratamientos de superficie y los parámetros volumétricos a 50X

6.1.2. 1. Parámetro de rugosidad media (Sa).

En la tabla 31 se muestra la estadística descriptiva de los valores obtenidos al estudiar el parámetro de altura máxima de la superficie.

Tratamiento Superficie	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Brush	3,80833	0,486394	12,7718%	3,05	4,42	1,37
DPS	3,29833	0,902611	27,3657%	2,13	4,67	2,54
Discs	3,015	1,20087	39,83%	0,79	4,6	3,81
Glazed	0,374167	0,136212	36,4042%	0,07	0,57	0,5
Reglazed	0,630833	0,374201	59,3185%	0,12	1,13	1,01
Stones	1,91	0,704092	36,8635%	0,96	3,14	2,18

Tabla 31 Estadística descriptiva de la rugosidad media a 50X.

Mediante el ANOVA se determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p=0.0001$). Tabla 32

Origen	F-Ratio	p-valor
Entre grupos	47,27	0,0001

Tabla 32. p valor de la rugosidad media a 50X.

El grupo glazed es el que menos rugosidad media mostró, seguido del grupo reglazed, sin que hubiera diferencia entre ellos, seguidos del grupo stones, que era diferente a los anteriores. Posteriormente se encuentran los grupos discs y DPS, que tampoco son distintos, y finalmente el grupo que mostraba una media significativamente mayor fue el grupo brush, que no era estadísticamente diferente al grupo DPS. Tabla 33.

Grupos	Media (DE)	Homogeneidad
Glazed	0,37 (0,13)	a
Reglazed	0,63 (0,37)	a
Stones	1,91 (0,70)	b
Discs	3,01 (1,20)	c
DPS	3,29 (0,90)	cd
Brush	3,80 (0,48)	d

Tabla 33. Valores de Sa por tratamiento de superficie.

6.1.2. 2. Parámetro de rugosidad media cuadrática (Sq).

En la tabla 34 se muestra la estadística descriptiva de los valores obtenidos al estudiar el parámetro de altura máxima de la superficie.

Tratamiento Superficie	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Brush	4,9475	0,621466	12,5612%	4,09	5,85	1,76
DPS	4,1925	1,08324	25,8375%	2,76	6,2	3,44
Discs	3,92417	1,6117	41,0711%	1,04	6,19	5,15
Glazed	0,473333	0,169133	35,7324%	0,1	0,69	0,59
Reglazed	0,7725	0,438885	56,8137%	0,16	1,34	1,18
Stones	2,42583	0,871461	35,9242%	1,26	3,98	2,72

Tabla 34. Estadística descriptiva de la rugosidad media cuadrática a 50X.

Mediante el ANOVA se determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p=0.0001$). Tabla 35

Origen	F-Ratio	p-valor
Entre grupos	48,99	0,0001

Tabla 35. p valor de la rugosidad media cuadrática a 50X.

El grupo glazed es el que menos rugosidad media cuadrática mostró, seguido del grupo reglazed, sin que hubiera diferencia entre ellos, seguidos del grupo stones, que era diferente a los anteriores. Posteriormente se encuentran los grupos discs y DPS, que tampoco son distintos entre ellos, y finalmente el grupo que mostraba una media cuadrática significativamente mayor fue el grupo brush. Tabla 36.

Grupo	Media (DE)	Homogeneidad
Glazed	0,47(0,17)	a
Reglazed	0,77 (0,43)	a
Stones	2,43 (0,87)	b
Discs	3,92 (1,61)	c
DPS	4,19 (1,08)	c
Brush	4,95 (0,62)	d

Tabla 36. Valores de Sq por tratamiento de superficie.

6.1.2. 3. Parámetro de altura máxima de la superficie (Sz).

En la tabla 37 se muestra la estadística descriptiva de los valores obtenidos al estudiar el parámetro de altura máxima de la superficie.

Tratamiento Superficie	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Brush	22,3358	2,2827	10,2199%	18,7	25,91	7,21
DPS	17,5892	3,97346	22,5904%	11,23	23,35	12,12
Discs	18,4692	7,09693	38,4258%	7,38	31,43	24,05
Glazed	1,91333	0,830195	43,39%	0,89	4,06	3,17
Reglazed	2,47	1,36989	55,4612%	0,74	4,65	3,91
Stones	12,8025	5,46296	42,671%	7,04	25,31	18,27
Total	12,5967	8,87581	70,4616%	0,74	31,43	30,69

Tabla 37. Estadística descriptiva de la altura máxima de superficie a 50X.

Mediante el ANOVA se determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p=0.0001$). Tabla 38

Origen	F-Ratio	p-valor
Entre grupos	51,48	0,0001

Tabla 38. p valor de la altura máxima de superficie a 50X.

Al comparar la altura máxima de la superficie, en todos los grupos estudiados, se observa que el grupo glazed y reglazed presentan la media más baja. Le siguen en altura máxima de la superficie el grupo stones, que presenta significativamente mayor altura máxima que el grupo glazed y reglazed, Le siguen de forma significativa el grupo discs y DPS, que no presentan diferencias entre ellos. Y el que mostró de forma significativa la media más alta de altura fue el grupo brush. Tabla 39.

Grupos	Media (DE)	Homogeneidad
Glazed	1,91 (0,83)	a
Reglazed	2,47 (1,37)	a
Stones	12,80 (5,46)	b
DPS	17,59 (3,97)	c
Discs	18,47 (0,97)	c
Brush	22,34 (2,28)	d

Tabla 39. Valores de Sz por tratamiento de superficie.

6.1.2. 4. Parámetro Skewness (Ssk).

En la tabla 40 se muestra la estadística descriptiva de los valores obtenidos al estudiar el parámetro de altura máxima de la superficie.

Tratamiento Superficie	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Brush	-0,0191667	0,349609	-1824,05%	-0,65	0,49	1,14
DPS	-0,025	0,71645	-2865,8%	-1,12	1,03	2,15
Discs	0,0908333	0,516324	568,43%	-0,95	0,67	1,62
Glazed	-0,388333	0,648492	-166,994%	-1,75	0,73	2,48
Reglazed	0,189167	0,331319	175,146%	-0,44	0,53	0,97
Stones	-0,18	0,454113	-252,285%	-0,72	0,65	1,37

Tabla 40. Estadística descriptiva del Skewness a 50X.

Mediante el ANOVA se determinó que no existían diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p > 0.005$). Tabla 41.

Origen	F-Ratio	p-valor
Entre grupos	1,84	0,1164

Tabla 41. p valor del Skewness a 50X

Al comparar la simetría de los picos y valles sobre la superficie medida (Ssk), se observaron valores con muy poca diferencia entre ellos, que oscilaban entre $-0.39 \mu\text{m}$ y $0,18 \mu\text{m}$. De todos modos la ANOVA mostró que existía alguna diferencia significativa entre los distintos grupos estudiados ($p < 0.05$). Al aplicar el test de contraste de múltiples rangos (LSD) se observó que los grupos glazed, stones, DPS y brush presentaban una homogeneidad, mientras que stones, DPS, brush, discs y reglazed eran homogéneos entre ellos, siendo diferentes los grupos glazed.

6.1.2. 5. Parámetro Curtosis (Sku).

En la tabla 42 se muestra la estadística descriptiva de los valores obtenidos al estudiar el parámetro de altura máxima de la superficie.

Tratamiento Superficie	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Brush	3,55083	0,776267	21,8615%	2,66	5,13	2,47
DPS	3,545	0,786656	22,1906%	2,2	4,89	2,69
Discs	3,84917	0,868577	22,5653%	2,83	5,83	3,0
Glazed	3,89667	1,65225	42,4017%	2,38	8,34	5,96
Reglazed	2,99583	1,13362	37,84%	1,99	6,18	4,19
Stones	3,59667	1,08261	30,1003%	1,94	5,28	3,34

Tabla 42. Estadística descriptiva de la Curtosis a 50X.

Mediante el ANOVA se determinó que no existían diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p > 0.005$). Tabla 43

Origen	F-Ratio	p-valor
Entre grupos	1,04	0,4033

Tabla 43. p valor de la Curtosis a 50X

Al comparar los valores obtenidos en este parámetro, se observó que los valores oscilan entre 3 μm y 3,90 μm .

Al aplicar el test de contraste de múltiples rangos (LSD) sólo se observaron diferencias en los grupos glazed y reglazed; el resto de grupos eran homogéneos. Tabla 44.

Grupos	Medias (DE)	Homogeneidad
Reglazed	3 (1,13)	a
DPS	3,55 (0,78)	ab
Brush	3,55 (0,77)	ab
Stones	3,60 (3,59)	ab
Discs	3,85 (0,86)	ab
Glazed	3,90 (1,65)	b

Tabla 44. Valores de Sku por tratamiento de superficie.

6.1.2. 6. Parámetro altura máxima del pico (S_p).

En la tabla 45 se muestra la estadística descriptiva de los valores obtenidos al estudiar el parámetro de altura máxima de la superficie.

Tratamiento Superficie	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Brush	15,4967	3,56567	23,0092%	10,15	20,98	10,83
DPS	13,1075	3,70088	28,2348%	5,46	20,44	14,98
Discs	15,3358	6,09912	39,7704%	5,43	25,53	20,1
Glazed	2,0525	1,08061	52,6483%	0,89	4,26	3,37
Reglazed	2,6175	1,28425	49,0639%	0,78	4,67	3,89
Stones	9,44333	4,24381	44,9398%	2,8	16,48	13,68

Tabla 45 Estadística descriptiva de la altura máxima del pico a 50X.

Mediante el ANOVA se determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p=0.0001$). Tabla 46

Origen	F-Ratio	p-valor
Entre grupos	31,67	0,0001

Tabla 46. p valor de la altura máxima del pico a 50X.

Al comparar los valores máximos de la altura del pico, en todos los grupos estudiados, se observa que el grupo glazed y reglazed presentan la media más baja. Le sigue el grupo stones, que presenta significativamente mayor altura máxima que ellos. Le siguen los grupos discs, brush y DPS, que no presentan diferencias entre ellos y son los que presentan mayor altura máxima del pico. Tabla 47.

Grupos	Media (DE)	Homogeneidad
Glazed	2,05 (1,08)	a
Reglazed	2,62 (1,28)	a
Stones	9,44 (4,24)	b
DPS	13,11 (3,70)	c
Discs	15,34 (6,09)	c
Brush	15,50 (3,56)	c

Tabla 47. Valores de Sp por tratamiento de superficie.

6.1.2.7. Parámetro del valor máximo de profundidad del valle. (Sv).

En la tabla 48 se muestra la estadística descriptiva de los valores obtenidos al estudiar el parámetro de altura máxima de la superficie.

Tratamiento Superficie	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo	Rango
Brush	16,1608	5,08836	31,4858%	12,29	30,68	18,39
DPS	13,0133	3,38745	26,0306%	8,66	20,01	11,35
Discs	11,385	3,18548	27,9796%	4,78	15,68	10,9
Glazed	1,88833	1,22227	64,7274%	0,59	5,25	4,66
Reglazed	2,20917	1,5601	70,6195%	0,42	5,4	4,98
Stones	7,81917	2,59176	33,1463%	4,47	12,3	7,83

Tabla 48. Estadística descriptiva del valor máximo de profundidad del valle.

Mediante el ANOVA se determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p=0.0001$). Tabla 49

Origen	F-Ratio	p-valor
Entre grupos	42,28	0,0001

Tabla 49. p valor del valor máximo de profundidad del valle.

Al comparar los valores máximos de profundidad del valle, obtenidos en este parámetro, se observa que los grupos glazed y reglazed obtuvieron un valor máximo de la profundidad del valles significativamente menor que los medidos en los grupos stones. A continuación se encuentran los grupos DPS, brush, homogéneos entre ellos, pero distintos estadísticamente a Stones y Brush, que es el que mayor valor máximo de profundidad del valle muestra. Tabla 50.

Grupos	Medias (DE)	Homogeneidad
Glazed	1,89 (1,22)	a
Reglazed	2,21 (1,56)	a
Stones	7,82 (2,60)	b
Discs	11,39 (3,18)	c
DPS	13,01 (3,38)	c
Brush	16,16 (5,08)	d

Tabla 50. Valores de Sv por tratamiento de superficie.

6.2. Análisis de imágenes obtenidas con el microscopio electrónico de barrido (MEB) y con el microscopio confocal.

Las imágenes obtenidas de las superficies de cerámica, mediante el MEB a los diferentes aumentos (500X, 1000X y 2000X), mostraron diferencias apreciables entre los distintos tratamientos de superficie aplicados, así como las imágenes obtenidas con el microscopio confocal.

6.2.1 Grupo 1. Glaseadas (glazed) (G): En las imágenes obtenidas con el MEB, se observó una superficie lisa, con ligeras elevaciones compatibles con el producto aplicado para el glaseado. Al ir magnificando las imágenes se vio más claramente el aspecto liso de la superficie. Figura 29A, 29B y 29C.

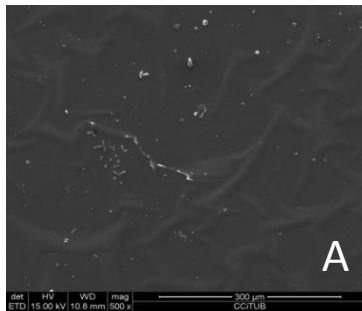


Figura 29 A. Glazed a 500X.

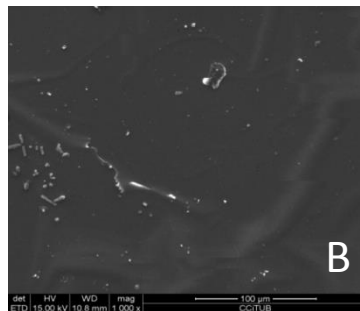


Figura 29B Glazed a 1000X.

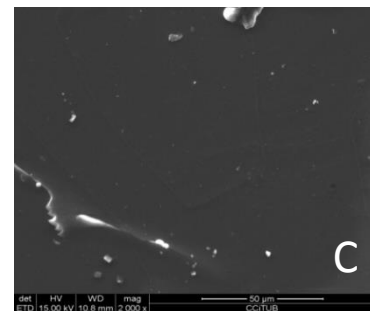


Figura 29C. Glazed a 2000X.

En las imagen obtenida con el confocal a 10X (fig 30A) se observó una superficie con mínimas irregularidades que al magnificarlas a 50X se observaron como ondulaciones.(fig 30B)

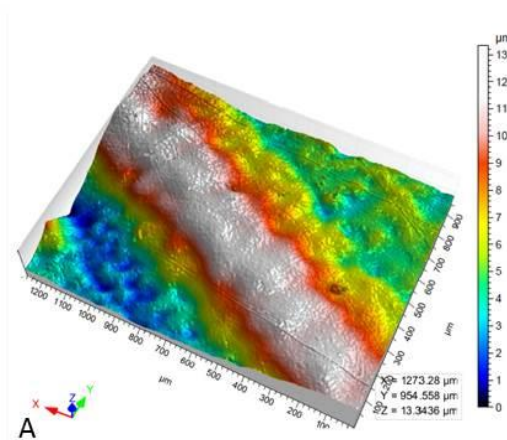


Figura 30 A. Glazed a 10X.

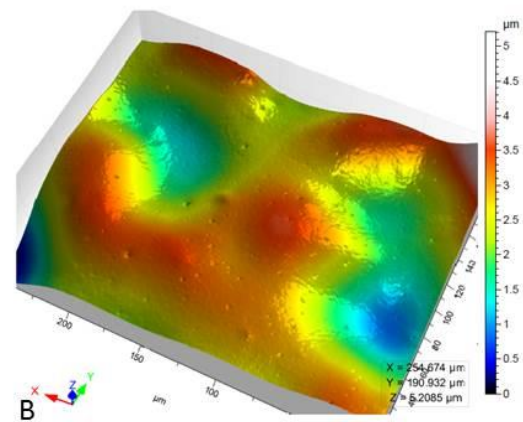


Figura 30B. Glazed a 50X

6.2.1. Grupo 2: Reglaseadas. (reglazed) (RG):

Al igual que en el grupo anterior, se observó una superficie lisa, con ligeras elevaciones compatibles con el producto aplicado para el glaseado y reglaseado. Al ir magnificando las imágenes se vio más claramente el aspecto liso de la superficie.

Figura 31A, 31B y 31C

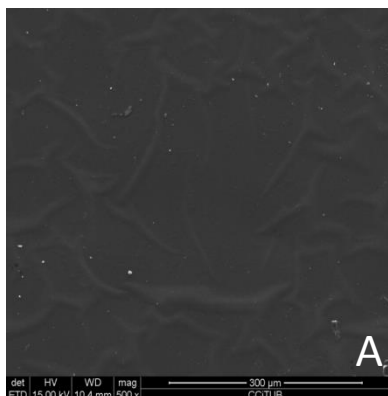


Figura 31 A. Reglazed a 500X.

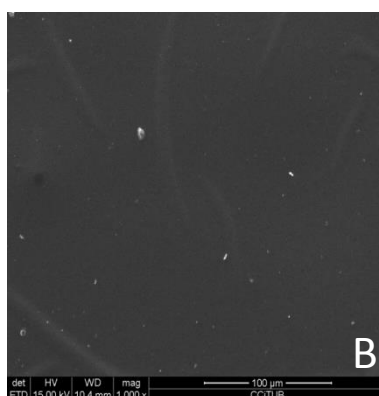


Figura 31B Reglazed a 1000X

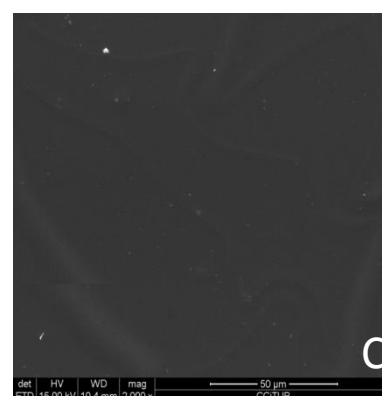


Figura 31C. Reglazed a 2000X

En las imagen obtenida con el confocal a 10X (fig 32A) se observó una superficie con mínimas irregularidades que al magnificarlas a 50X se pudo apreciar con mayor nitidez.(fig 32B)

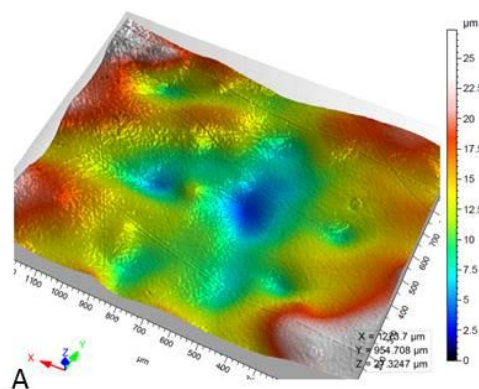


Figura 32A. Reglazed a 10X.

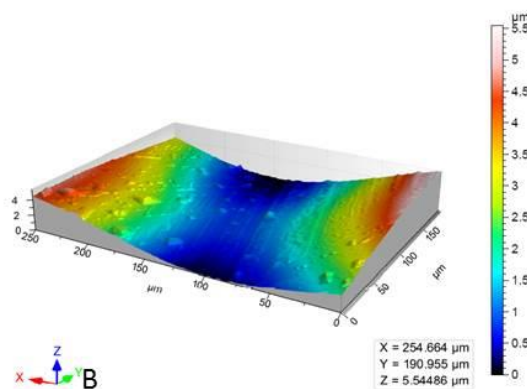


Figura 32B. Reglazed a 50X

6.2.1. 3 Grupo 3: Discos. (Discos) (D):

En las imágenes obtenidas con el MEB, se observó una superficie bastante irregular, con picos y valles marcados, apreciables también en las imágenes de la microscopía confocal, en cada uno de los aumentos estudiados fig 34A y 34B.

Al aumentar la magnificación con el MEB se apreciaron pequeños fragmentos sueltos de bastoncillos de disilicato de litio. Figura 33A, 33B y 33C

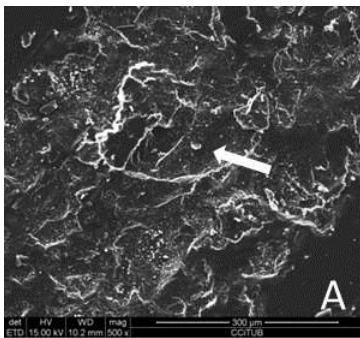


Figura 33.A. Discs a 500X.

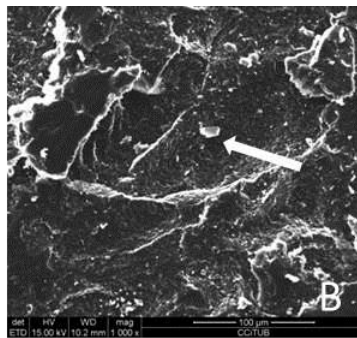


Figura 33.B Discs a 1000X

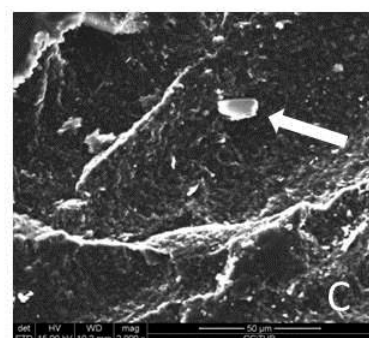


Figura 33C. Discs a 2000X

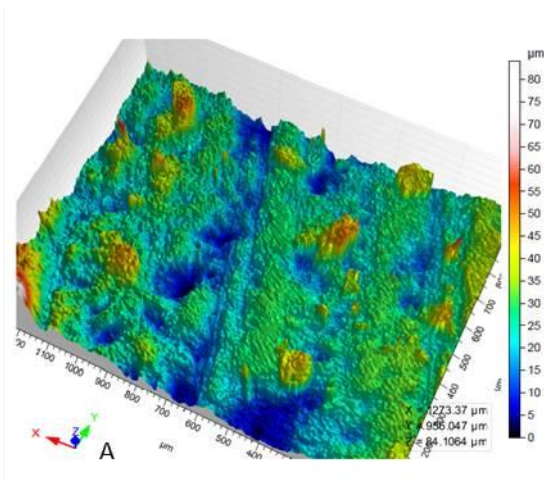


Figura 34A. Disc a 10X.

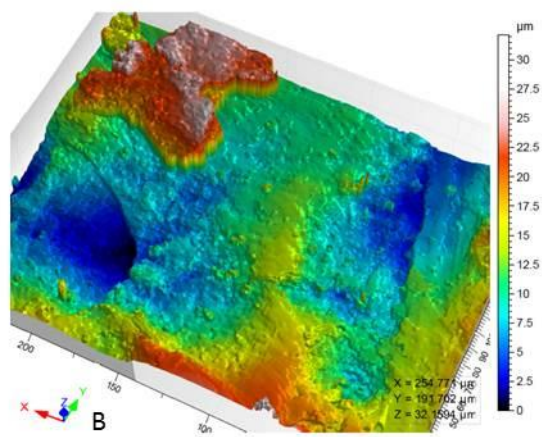


Figura 34B. Disc a 50X.

RESULTADOS

6.2.1.4 Grupo 4: Piedras (Stones) (ST):

En las imágenes obtenidas con el MEB, se observó una superficie irregular, pero a diferencia del grupo anterior (discs), no se observaron fragmentos de cristales, ni elevaciones (picos) o valles tan marcados. Fig 35A 35B y 35C.

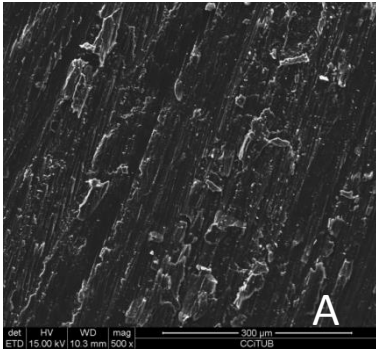


Figura 35A. Stones a 500X.

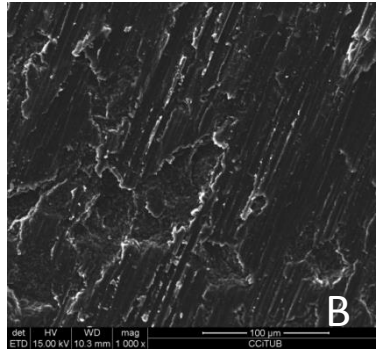


Figura 35B Discs a 1000X

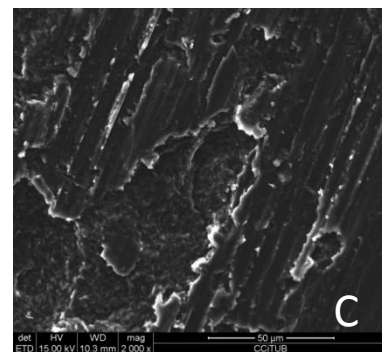


Figura 35C. Discs a 2000X

Las imágenes de la microscopía confocal mostraron un patrón de superficie similar al observado con el MEB, en cada uno de los aumentos estudiados. Fig 36A y 36B.

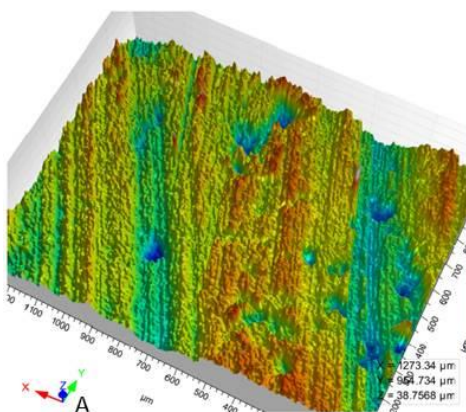


Figura 36 A. Stones a 10X.

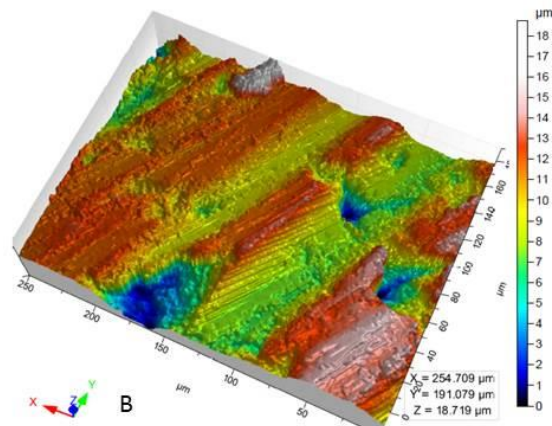


Figura 36B Stones a 50X.

6.2.1.5 Grupo 5: Sistema de Pulido diamantado. (Diamond polishing system) (DPS):

En las imágenes obtenidas con el MEB, (fig 37a, 37b y 37c) se observó una superficie irregular, sin valles, ni picos marcados, similar al grupo anterior (stones), apreciables también en las imágenes de la microscopía confocal, en cada uno de los aumentos estudiados fig 38a y 38b.

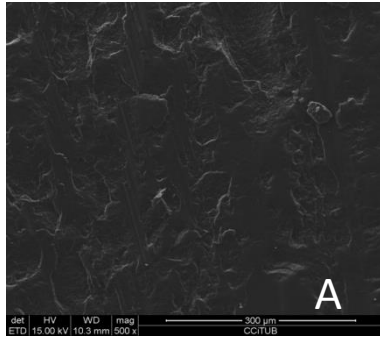


Figura 37A. DPS a 500X.

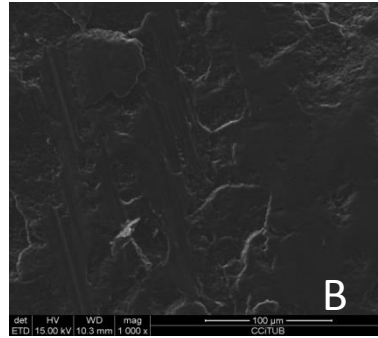


Figura 37B DPS a 1000X

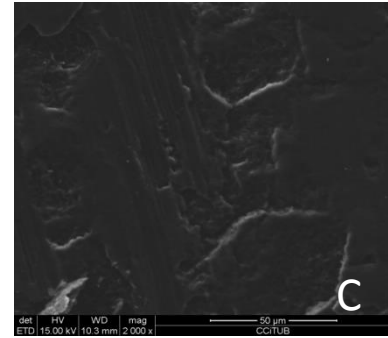


Figura 37C. DPS a 2000X

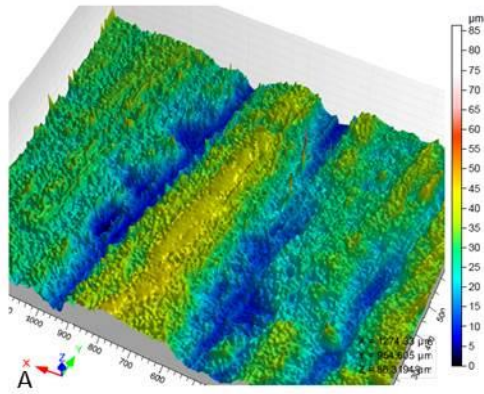


Figura 38A. DPS a 10X.

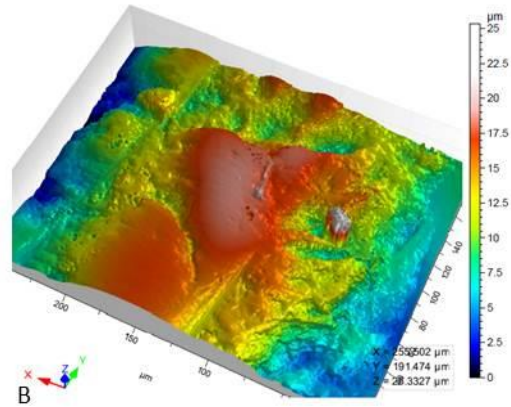


Figura38B. DPS a 50X.

RESULTADOS

6.2.1.6 Grupo 6 Cepillos. (Brushes) (B).

Se observó una superficie bastante irregular en las imágenes de 500X y 1000X, (figura 39^a y 39B) picos y valles bastante marcados y presencia de bastones de disilicato de litio en la superficie de los picos, claramente apreciables en la imagen con 2000X de magnificación, (figura 39C), apreciables también en las imágenes de la microscopía confocal, en cada uno de los aumentos estudiados fig 40A y 40B.

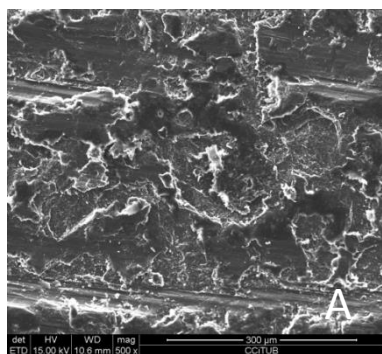


Figura 39A. Brush a 500X.

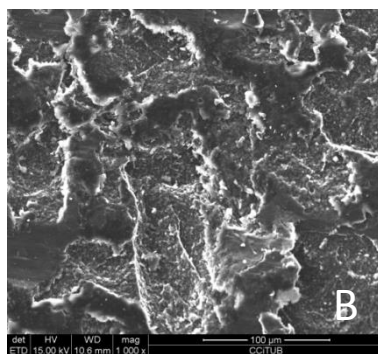


Figura 39B. Brush a 1000X

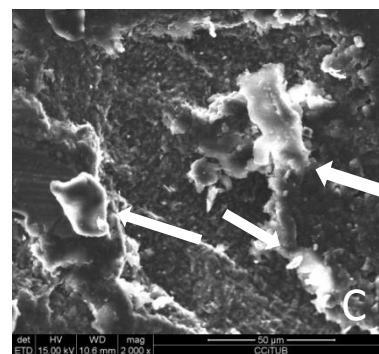


Figura 39C. Brush a 2000X

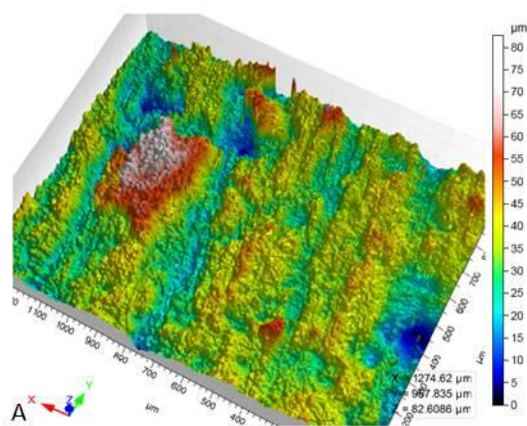


Figura 39A. Brush a 10X.

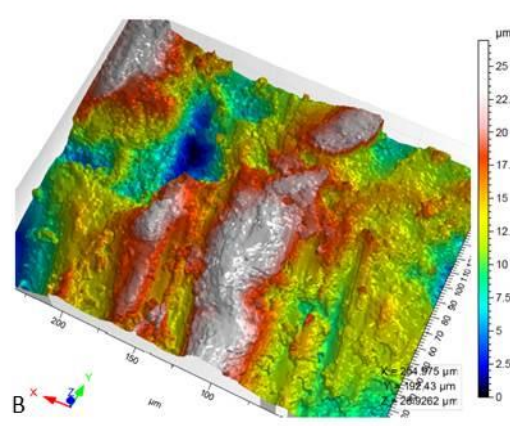


Figura 39B. Brush a 50X.

6.3. Análisis de la estabilidad del color.

Tal como se comentó en el apartado de materiales y métodos, al realizar las mediciones de color con el espectrofotómetro, se obtuvieron valores en las coordenadas L, a, b, los cuales fueron registrados y analizados a través de la ecuación de Hunter a fin de obtener el valor conocido como Delta E (ΔE).

6.3.1 Análisis de DeltaE (ΔE) por tratamiento superficie.

En la tabla 51 se muestra la estadística descriptiva de los valores obtenidos al estudiar los valores de (ΔE), en los tratamientos de superficie.

Tratamiento Superficie	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Rango
Brushes	9,82787	10,1278	0,55	38,14	37,59
DPS	7,73844	7,99513	0,37	29,0	28,63
Discs	8,373	9,10643	0,47	31,12	30,65
Glazed	0,830688	0,644929	0,05	3,51	3,46
Reglazed	1,31525	1,30041	0,1	6,91	6,81
Stones	6,66275	8,20407	0,59	34,84	34,25

Tabla 51. Estadística descriptiva del ΔE en los tratamientos de superficie.

Mediante el ANOVA se determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p < 0.0001$). Tabla 52.

	F-Ratio	p-valor
Tratamiento Superficie	509,68	0,0000

Tabla 52. p valor del ΔE en los tratamientos de superficie

Al aplicar el test de contraste de múltiples rangos (LSD) se observó que los únicos grupos homogéneos eran glazed y reglazed, mientras que el resto de grupos no lo eran y se apreciaron diferencias entre ellos. Tabla 53.

Tratamiento Superficie	Medias (DE)	Homogeneidad
Glazed	0,83 (0,64)	a
Reglazed	1,32 (1,30)	a
Stones	6,66 (8,20)	b
DPS	7,74 (7,99)	c
Discs	8,38 (9,10)	d
Brushes	9,83 (10,12)	e

Tabla 53. Valores según tratamiento de superficie.

6.3.2 Análisis de DeltaE (ΔE) por sustancia pigmentante.

En la tabla 54 se muestra la estadística descriptiva de los valores obtenidos al estudiar los valores de (ΔE), en las sustancias pigmentantes.

Sustancia pigmentante	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Rango
AD	1,31304	0,770949	0,1	5,12	5,02
CF	2,18992	1,5479	0,05	6,91	6,86
TE	4,52142	2,92579	0,3	12,31	12,01
VT	15,141	11,2383	0,1	38,14	38,04

Tabla 54. Estadística descriptiva del ΔE en las sustancias pigmentantes.

Mediante el ANOVA se determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p < 0.0001$). Tabla 55.

	Media	F-Ratio	p-valor
Sust_ Pigmentante	9764,28	2155,46	0,0000

Tabla 55. p valor del ΔE en las sustancias pigmentantes.

Al aplicar el test de contraste de múltiples rangos (LSD) se observó que no había homogeneidad entre ellos y las diferencias entre todos los agentes pigmentantes fueron significativas. Tabla 56.

Sust_ Pigmentante	Media (DE)	Homogeneidad
AD	1,31(0,77)	a
CF	2,19 (1,54)	b
TE	4,52 (2,92)	c
VT	15,14 (11,23)	d

Tabla 56. Valores según sustancia pigmentante.

6.3.3 Análisis de DeltaE (ΔE) por tiempo.

En la tabla X se muestra la estadística descriptiva de los valores obtenidos al estudiar los valores de (ΔE), en el tiempo.

Tiempo	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Rango
T1	4,43883	5,96635	0,1	27,29	27,19
T2	5,59262	7,69922	0,14	32,88	32,74
T3	6,41517	9,04509	0,1	37,6	37,5
T4	6,71871	8,97747	0,05	38,14	38,09

Tabla 57. Estadística descriptiva del ΔE en tiempo.

Mediante el ANOVA se determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p < 0.0001$). Tabla 58

	Media	F-Ratio	p-valor
Tiempo	249,435	55,06	0,0000

Tabla 58. p valor del ΔE en tiempo.

Al aplicar el test de contraste de múltiples rangos (LSD) se observó que existían diferencias significativas entre los valores de delta E medidos en T1, T2 y T3. Los valores delta E obtenidos en T3 y T4 fueron homogéneos. Tabla 59

Tiempo	Media (DE)	Homogeneidad
T1	4,44 (5,96)	a
T2	5,60 (7,70)	b
T3	6,41 (9,04)	c
T4	6,71 (8,97)	c

Tabla 59. Valores según el tiempo.

6.3.4 Interacción de los grupos.

Mediante el ANOVA se determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre todos los grupos, por separado y al realizar las interacciones entre ellos ($p = 0.0001$). Tabla 60.

	Media	F-Ratio	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES			
A: Tratamiento Superficie	2308,88	509,68	0,0000
B: Sust_ Pigmentante	9764,28	2155,46	0,0000
C: Tiempo	249,435	55,06	0,0000
INTERACCIONES			
AB	966,123	213,27	0,0000
AC	29,0959	6,42	0,0000
BC	113,438	25,04	0,0000
ABC	17,5664	3,88	0,0000

Tabla 60. Valores de interacción de todos los grupos.

Al realizar la interacción del tratamiento de superficie, con la sustancia pigmentante se observó que los grupos glazed y reglazed mantuvieron unos valores de ΔE bajos todas las sustancias pigmentarias estudiadas, mientras que el resto de grupos mantuvo sólo unos valores bajos en el agua destilada (AD), el grupo control. En las demás sustancias los valores de ΔE aumentaron de forma significativa siendo el café (CF) el que presentó valores más bajos, seguidos del té (TE) y por último y sobre todos, el vino tinto (VT) que presentó valores notablemente superiores a los otros grupos. Figura 61.

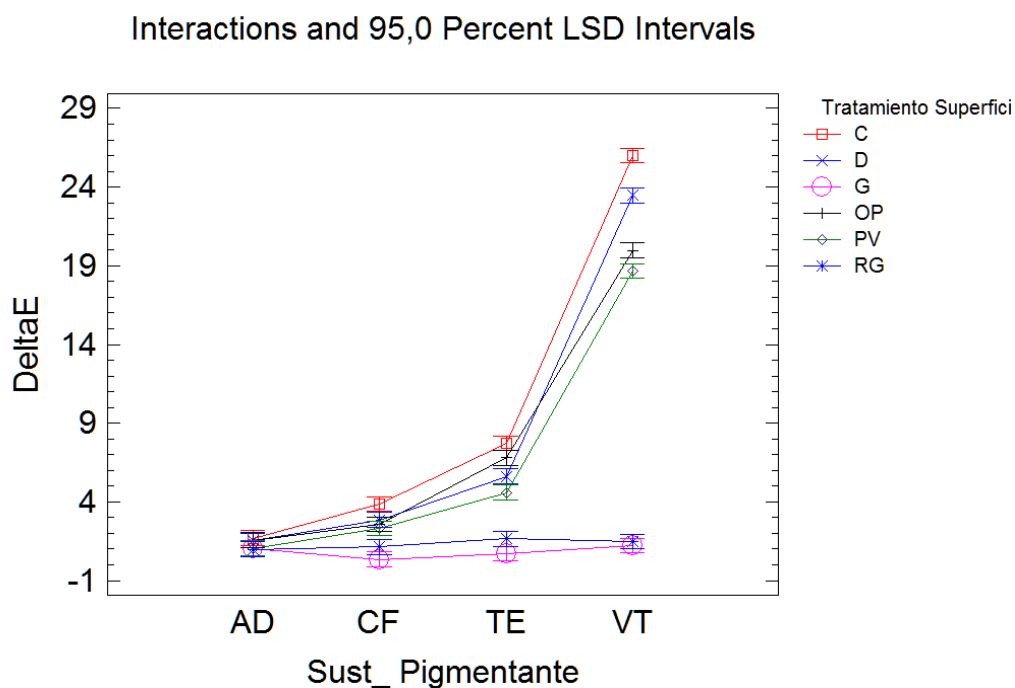


Figura 61. Interacción tratamiento de superficie sustancia pigmentante.

Al realizar la interacción del tratamiento de superficie con el tiempo, se observó que el grupo glazed y reglazed mantuvieron unos valores de ΔE bajos, en cada una de las semanas, primera semana (T1), segunda semana (T2), tercera semana (T3), cuarta semana (T4), las variaciones fueron mínimas.

En el resto de grupos se ve un aumento del ΔE a lo largo de las semanas, estabilizándose en T3, por lo que no se ven diferencias entre T3 y T4. En el grupo discs, la estabilización del ΔE sucede ya en T2. Figura 62.

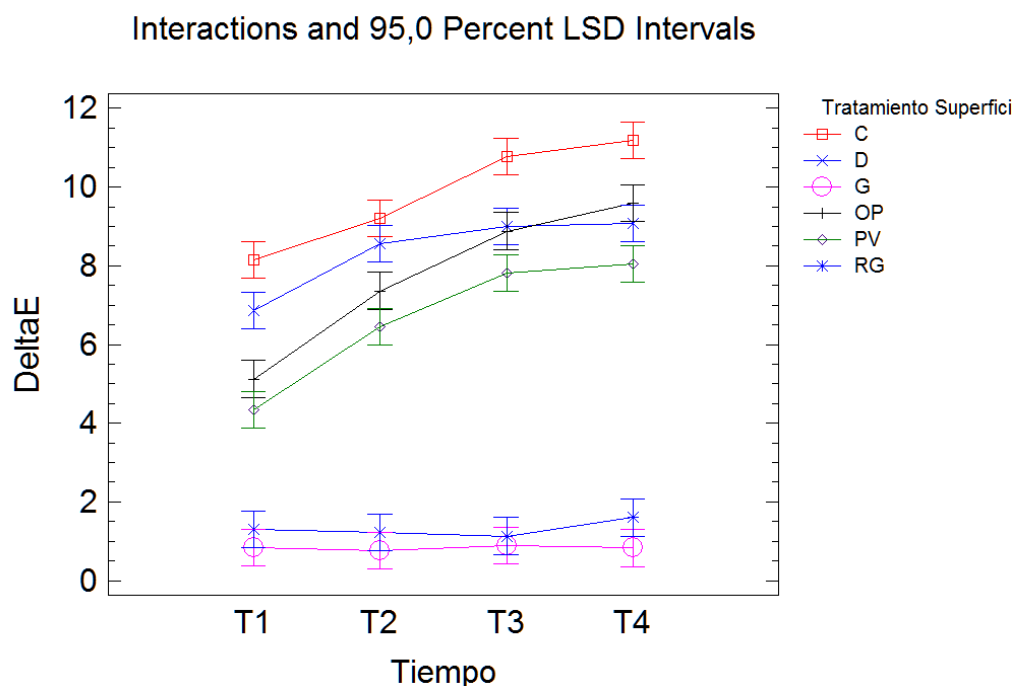


Figura 62. Interacción tratamiento de superficie/tiempo.

Al realizar la interacción de las sustancias pigmentantes con el tiempo, se observó que los valores de ΔE en el agua destilada (AD) fueron bajos en todas las semanas y mantuvieron un comportamiento casi uniforme. En el café (CF) y té (TE), los valores fueron superiores a los de AD y fueron aumentando conforme pasaba el tiempo. El vino (VT) desde la primera semana (T1) mostró valores de ΔE significativamente superiores al resto del grupo. Estos valores, además aumentaron de forma significativa en T2 y T3, quedando ya estable en T4. Figura 63.

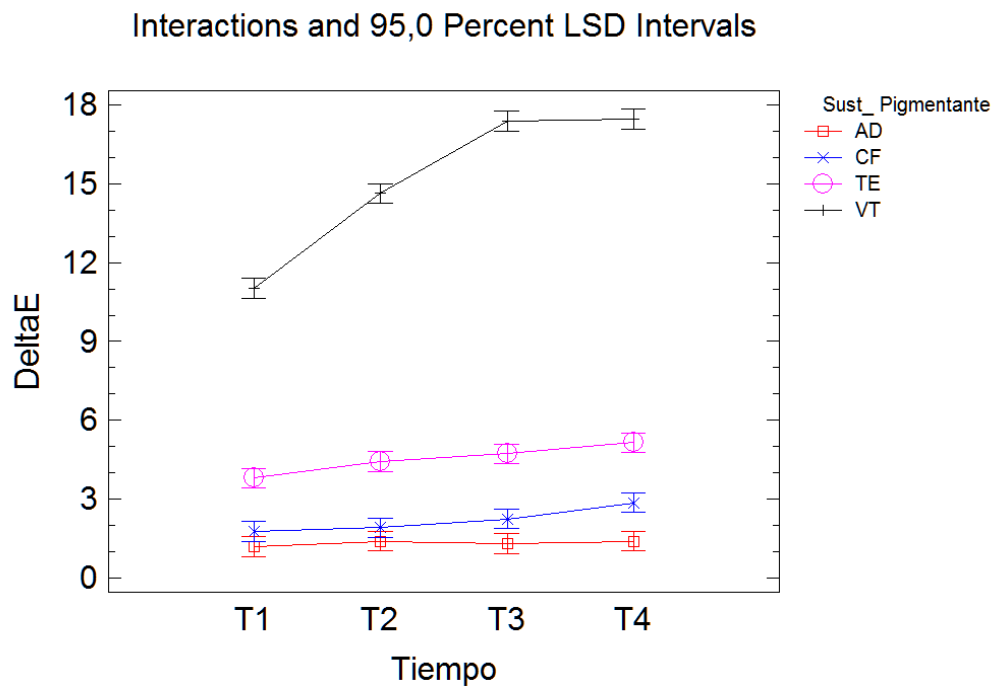


Figura 63. Interacción sustancia pigmentante/tiempo.

7. Discusión.

7.1 Discusión de la metodología

7.1.1 Discusión sobre el material y método utilizado

El disilicato de litio ha sido considerado como uno de los dos materiales cerámicos más usados en la actualidad¹²³⁻¹²⁵, por lo que el material base empleado en este trabajo fue el disilicato de litio (LS2) técnica CAD/CAM, IPS e max[®] CAD. Al ser un material para trabajar con diseño asistido con ordenador y fresadoras con pocos años en el mercado dental, no hemos encontrado ningún estudio que relacione su estabilidad de color con el pulido y la rugosidad superficial. Estudios como el de Asai¹²⁶ evalúan el aspecto de la superficie y el pulido del LS2 desde el punto de vista mecánico, relacionándolo con la resistencia a las fuerzas compresivas, mas no con el color. Otros estudios evalúan la estabilidad del color de la cerámica y la relación que puede tener con la rugosidad superficial, pero en cerámicas feldespáticas convencionales, o en feldespáticas reforzadas, no en disilicato de litio^{113,127,128}. En cuanto a los materiales para trabajar con sistemas CAD/CAM no se ha encontrado ningún estudio que verse sobre la rugosidad, la estabilidad del color ni el pulido superficial.

No existe un consenso en la literatura acerca del grosor de las muestras, cuando se realizan estudios de estabilidad del color o de pulido y rugosidad superficial. Encontramos estudios que trabajaron con muestras de 4mm¹²⁹, de 3mm^{74,77}, de 2mm^{19,46,52,53,60,66,80,82,84,113,139}, de 1,5mm^{131,132}, de 1mm¹³³ y hasta 0,6mm de grosor,¹³⁴ En nuestro estudio nos decantamos por confeccionar muestras de 2mm de grosor, pues es el grosor que suelen tener las restauraciones totalmente cerámicas cuando las realizamos para uso oral. Además, este grosor está en en concordancia con la mayoría de estudios que además de valorar pulido y rugosidad de superficie valoran también la estabilidad del color^{113,127,128,138}. El acabado y cristalizado de las muestras se hizo según la norma ISO 6872 y al acabarse se limpiaron con vapor. En cuanto al glaseado, hay la opción de autoglaseado tal como lo sugieren realizarlo varios autores^{53,58,60,139} o el glaseado aplicando un producto sobre la superficie. Finalmente utilizamos esta técnica, aplicando el IPS e max[®] Ceram glaze paste, Ivoclar Vivadent, (Schaan, Liechtenstein),

ya que tal como sugiere Yilmaz 2010, es una técnica que permite cerrar poros que puedan haber en la superficie y es de uso frecuente ya que protege a los tintes y caracterizaciones que se aplican en la superficie de las restauraciones cerámicas⁶¹.

Para la remoción de la capa de glaseado y la simulación de un ajuste intraoral existen sistemas como el creado por Ahmad R et al¹³⁹, en el que para estandarizar la presión ejercida sobre las muestras se usaba una máquina con un sistema de soportes al que se le colocaba la pieza de mano de baja velocidad, conectada a un ordenador que controlaba la velocidad de giro de la fresa. Este sistema no nos ha parecido conveniente, ya que no reproduce la realidad clínica, en donde cada operador aplica una fuerza diferente al desgastar. Tampoco controla la refrigeración y el cambio del disco de trabajo o fresa, lo cual influye en el desgaste desigual de las muestras.

Otros estudios refieren haber hecho el fresado de forma manual, por un mismo operador, con refrigeración y usando una fresa de grano medio, estandarizando el tiempo y la dirección en la que se pasaba la fresa^{67,113}. En nuestro estudio nos decantamos por esa metodología de trabajo, para reproducir lo más exactamente posible la situación clínica diaria y siguiendo la metodología de Firoozmand y cols¹³⁵, se empleó una fresa por cada cinco muestras, a fin de evitar el sesgo que nos podía causar el desgaste de la fresa. Una vez que se hizo el desgaste, se realizó un acabado con gomas de silicona y se distribuyeron las muestras según el sistema de pulido que se empleó en cada una.

7.1.2. Discusión de los métodos de pulido

En vista de que hay autores que refieren que los sistemas de pulido pueden igualar la superficie de un glaseado^{56,136,137} y autores refieren que estos resultados no son buenos, comparados con la superficie glaseada o reglaseada^{66,77} sin que haya un consenso en sus metodologías, decidimos distribuir nuestros grupos de estudio según los sistemas más estudiados en la bibliografía y usar una metodología que fuera clínicamente representativa y comparable con estudios previos.^{53,66,77,78,79,80,81,82,}

El reglaseado se realizó usando el IPS e max Ceram® glaze paste Ivoclar Vivadent, (Schaan, Liechtenstein), de acuerdo a las indicaciones del fabricante, y en

concordancia con estudios que incluyeron este sistema como una alternativa al pulido mecánico manual intraoral.^{61,118,138.}

El uso de los discos de pulir SOF-LEX Discs - 3M ESPE Deutschland GmbH. (Neuss. Germany) fue el sistema de pulido más referenciado. Utilizamos los cuatro discos de diferente capacidad abrasiva (150, 360, 600 y 1200 granos) que conforman el sistema, tal como la mayoría de los autores. Algunos autores utilizan sólo dos tipos de discos, pero en vista de que estos tenían resultados que mostraban una superficie final con una rugosidad media más alta que los estudios que empleaban los cuatro discos, decidimos usar el sistema completo. Es importante resaltar que este sistema aun siendo el más estudiado muestra una limitación clínica importante; no puede usarse en zonas oclusales porque su forma aplanada no accede por completo a la parte más honda de las fosas y fisuras de los molares. Se realizó un movimiento unidireccional, se usó un disco en cada muestra sin agua, tal como indica el fabricante y se realiza en estudios previos.

Los sistemas de pulido de Shofu Inc (Kyoto Japan), han sido empleados en estudios como el de Al-Shammery y cols⁸², Al-Wahadni A¹⁹ y Sarac y cols⁶⁶, sin que haya un consenso en el uso de ellos. Los discos de pulir, las piedras blancas y las piedras verdes han sido usadas de manera indistinta, con o sin pastas diamantadas durante o posterior a su uso. Kursoglu y cols¹¹⁴, pulieron en el siguiente orden: primero con una piedra abrasiva (piedra verde; Shofu Inc), luego un pulidor grueso de carburo de silicio (CeraMaster, Shofu Inc), posteriormente un pulido fino de carburo de silicio (CeraMaster; Shofu Inc) con pasta de pulir (Ultra II; Shofu Inc) y por último con discos de pulido (Super-Snap discos buff; Shofu Inc). Todo el estudio fue realizado por un mismo investigador con una pieza de mano girando a baja velocidad, 10 000 rpm, durante aproximadamente 20 segundos. En nuestro estudio, con la finalidad de establecer un protocolo simplificado, de fácil aplicación en la práctica clínica diaria, se

usó solamente la piedra verde, Dura-Green Stone, Shofu Inc., una por muestra, empleando un movimiento constante y unidireccional siguiendo las indicaciones del fabricante. Se utilizó una velocidad de 10.000rpm durante 15 segundos a una presión constante.

El uso de pastas diamantadas pulidoras fue estudiado por Al-Wahadni A¹⁹, Concluyen que su uso produce superficies más lisas y lo recomienda siempre que haya que hacer pulidos intraorales. Debe tenerse en cuenta que sólo evaluó un kit de pulido, en donde parte de la muestra se evaluó hasta la fresa de grano fino y la otra parte se evaluó con todo el kit y la pasta diamantada sin que en sus conclusiones se diferenciaron ambos grupos. Por su parte, Sarac y cols⁶⁶, no encontraron diferencias en los grupos que usaban pastas diamantadas y los que no. Existen investigadores que afirman que su uso puede producir más rugosidad si se utiliza más tiempo del adecuado, 60 segundos⁶² Por todo lo expuesto hemos incluido el sistema de pulido OptraFine®, Ivoclar Vivadent. Schaan, Liechtenstein, un sistema completo, compuesto por gomas de dos grados abrasivos diferentes, un cepillo y una pasta diamantada. Se usó de acuerdo a las indicaciones del fabricante; en la secuencia de las gomas a 10.000 rpm con abundante agua y posteriormente el cepillo de nylon con pasta de diamante a una velocidad entre 7.000 a 10.000 rpm sin agua, sin superar en ningún caso los 60 segundos. De igual manera, para comprender mejor la efectividad de las pastas diamantadas, empleamos los cepillos impregnados de pasta diamantada, Hawe Occlubrush. KERR. (Mfg. Co., Romulus, Mich).

7.1.3 Discusión sobre métodos para análisis de la superficie de la cerámica

Los estudios que comparan la eficacia de los diversos sistemas de alisado y pulido de metales y restauraciones cerámicas se llevan a cabo de forma cualitativa o cuantitativa. Algunos estudios se han centrado solo en el análisis cualitativo de la superficie cerámica^{78,59,139}, otros han examinado la superficie cuantitativamente y otros^{103, 113, 140}, han realizado tanto la evaluación cualitativa y cuantitativa siguiendo diferentes procedimientos de acabado^{66,81,140}. Dado que el análisis de la superficie

tanto cualitativa, como cuantitativamente ha sido descrito como el sistema que permite la obtención de mejores inferencias, ha sido el que hemos usado en nuestro estudio.

Tradicionalmente, en estudios de rugosidad en materiales dentales se ha usado la perfilometría como medio de medición cuantitativo^{19,50, 51,52, 66,67,103,141}. Al ser un método de contacto puede causar un deterioro de las muestras y además sólo puede acceder a una profundidad limitada de la superficie, ya que está limitado por la dimensión espacial de la aguja. Por otra parte, sólo se valora la zona lineal de la superficie por donde se pasa la aguja del perfilómetro y está limitado por la fuerza, velocidad de muestreo y por la calibración en el eje z¹¹⁸⁻¹²⁰.

La microscopía confocal láser, por su parte, permite la valoración de una zona, no de una línea, no tiene contacto con la muestra por lo que se evita su deterioro, se pueden obtener una gran cantidad de parámetros que aportan una información completa de la superficie estudiada, la cual puede ser visualizada en 3D^{82,142} y puede llegar a zonas muy estrechas y profundas de los valles de las superficies estudiadas. Esta capacidad de llegar a un mayor número de zonas de estudio ha sido motivo para que algunos autores como Wennerberg y cols¹⁴³ digan que este método puede sobreestimar los valores de rugosidad, ya que al hacer un análisis comparativo de este método con la perfilometría los valores obtenidos con la microscopía confocal son más elevados^{81,82,88,90}. En nuestro estudio hemos usado la microscopía confocal laser pues creemos que la solución mediante esta técnica de los varios problemas que presentan las técnicas de perfilometría, hacen que esta última sea ya una técnica obsoleta. No creemos que la microscopía confocal laser sobreestime los valores de rugosidad, sino que pensamos que los hace más reales y que son las técnicas de perfilometría las que, debido a sus grandes limitaciones, infravaloran la rugosidad presente en la superficie.

Para la valoración de la rugosidad superficial, la mayoría de los estudios utilizan el parámetro rugosidad media (Ra), lo cual puede ser cuestionado, ya que el parámetro Ra por sí solo no es capaz de describir la superficie de un material. Se establece mediante la búsqueda un eje medio, por lo que no hay una discriminación en picos y valles y representa simplemente un promedio entre las alturas. Por esto al ver

un valor Ra de una superficie no podemos determinar dónde está el defecto, siendo de gran importancia en el análisis del pulido de una superficie, ya que son los picos los que causaran un deterioro de la superficie antagonista y los valles una acumulación de placa bacteriana que influirá en las pigmentaciones, en el caso de estudios de estabilidad del color. Al-Shammery y cols⁸² estudiaron cinco parámetros rugosidad media(Ra), rugosidad media cuadrática(Rq), profundidad del valle (Rv) y altura máxima del pico (Rp) con la finalidad de hacer un análisis más exacto de la superficie que estudiaban. Estos parámetros eran medidos en dos dimensiones.

En concordancia con la normativa ISO 25178, optamos por el uso de la microscopía láser confocal y el análisis de los parámetros en tres dimensiones, Sa, Sq, Ssk, Sku, Sz, Sp, Sv.

El uso de la microscopía electrónica de barrido (MEB), como medio para valorar cualitativamente una superficie ha sido ampliamente reportada en la literatura. Es una herramienta útil para ilustrar los cambios que se producen en la superficie de las cerámicas al realizar los diferentes tratamientos de superficie^{66, 78,81,139,141}. En cuanto a la magnificación que hay que aplicar al MEB no existe un consenso. Encontramos estudios que van de 30x¹⁴⁴ hasta 2000X⁸¹ Decidimos utilizar las dos magnificaciones usadas con mayor frecuencia, 500X^{78,66,104, 139} y 1000X,^{60,141} además de 2000X, como una magnificación mayor que nos permitiera ver el comportamiento del disilicato de litio, ya que ha sido poco estudiado.

7.1.4 Discusión sobre instrumentos para medir el color

La superioridad de los instrumentos para medir el color comparados con una determinación visual ha sido ampliamente reportada^{114,117,119,121,122,}. Horn et al¹⁴⁵ concluyeron que la espectrofotometría era una manera in vitro más predecible y fiable de evaluar el color de los dientes que el ojo humano. El espectrofotómetro logró un 80% de reproducibilidad mientras que los observadores humanos no superaron el 65%. De manera similar fueron las conclusiones de Paul et al. en el 2002, en donde reportaron que las mediciones con un espectrofotómetro son más precisas y reproducibles que las realizadas por el ojo humano (los observadores coincidieron en

el 26,6% y el espectrofotómetro al 83,3%)¹⁴⁶. Para la toma del color seleccionamos un espectrofotómetro. Este instrumento ha sido usado en numerosos estudios de valoración del color y autores como Chu y cols¹¹⁹ y Johnston W¹¹¹ lo consideran como el gold standard, ya que ha sido diseñado para un uso clínico y son fáciles de usar, además de que proveen resultados reproducibles. Corciolani G y cols¹²⁰ y Chu y cols¹²⁰ refieren las ventajas del uso del Vita Easy Shade® Compact. VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG Germany, por su practicidad. Es inalámbrico, pequeño, portátil y ahorra batería- Este espectrofotómetro es de tipo de contacto y ofrece información suficiente para ayudar en el análisis de color. Se pueden usar diferentes modos de medición, siendo el modo de un solo diente, el usado en este estudio¹²⁰. (Figura X). Los espectrofotómetros tienen el inconveniente de que en la práctica clínica su aplicación puede verse obstaculizada por la superficie convexa de los dientes, lo que complica la colocación de la punta, lo cual es fundamental para obtener una medición correcta. Este problema no puede asociarse a nuestro estudio ya que las muestras eran totalmente planas¹¹⁷. Aún cuando hay autores como Lee y Powers¹⁴⁷ que enuncian la superioridad del sistema CIEDE 2000 para la determinación del color, por encima del CIE-Lab, otros como Sharma G y cols reconocen que es un sistema más sofisticado que su predecesor (CIE-Lab), pero concluyen que para validar las implementaciones de software del CIEDE 2000 se necesitan pruebas que ayuden a perfeccionar el funcionamiento del sistema¹⁴⁸. En este estudio las mediciones se establecieron en las coordenadas matemáticas a las que se refiere el espacio de color, según el CIE-Lab, (Commission Internacional de L'Eclairage L*, a*, b*).

Varios autores, han afirmado que el color del fondo no puede influir en la toma del color¹⁴⁹ mientras que otros opinan que puede influir fuertemente¹⁵⁰ Akar y cols¹⁵¹ y Tan y cols¹⁵² emplean un fondo blanco para la toma el color, mientras que Dallazem y Della Bona¹⁵³ usan uno gris. En concordancia con Ardu y cols, el fondo que seleccionamos para la toma del color fue negro. Estos autores demostraron que el fondo tiene una influencia sobre las mediciones de color y que el negro y gris simulan mejor el entorno intra-oral que el fondo blanco.

El fondo negro puede ser preferible para estudios in vitro, debido a su capacidad y tendencia a imitar mejor la situación clínica¹¹².

7.1.5 Discusión sobre la metodología para estudiar la estabilidad del color

El efecto que causan en la superficie de la cerámica los ajustes intraorales y el pulido superficial en su influencia en la resistencia, acúmulo de bacteria o desgaste de los dientes antagonistas, son aspectos que han sido ampliamente estudiados; no así la relación de la superficie de la cerámica con la estabilidad del color¹⁵⁴.

Los estudios que relacionan superficie y color son mayoritariamente estudios relacionados con resinas acrílicas y composites^{152, 155,156,157}. Los líquidos empleados para valorar estos cambios de color suelen ser bebidas de consumo frecuente como el café, té negro, vino tinto y coca cola^{128,127,159}, Tan y cols¹⁵² incluyen el zumo de naranja, el té verde y el vodka. No existe un consenso en cuanto a los días en los que se realizan las mediciones del color, encontrándonos con estudios que miden sólo a los 7 días¹⁵², sólo a los 12¹²⁸, a los 45 y a los 90 días¹⁶⁰. Hay otros estudios que realizan una medición cada 7 días, por espacio de 4 semanas. Esta última metodología fue la que incorporamos en nuestro estudio^{127,159}, pues nos permitía estudiar los cambios de color de forma similar a cómo suceden en la clínica cada día.

7.2 Discusión de resultados

7.2.1 Rugosidad

La cerámica dental es un material restaurador de alta estética, razón por la cual el brillo característico que le hace mimetizar a los dientes naturales debe permanecer intacto; por otra parte, como mencionamos en el apartado del estado de la cuestión, la pérdida de integridad de su superficie trae como consecuencia un aumento de la rugosidad, lo que a su vez conlleva a problemas biológicos como el desgaste del antagonista, el acúmulo de placa bacteriana que afecta a los tejidos gingivales^{54, 55, 154}, y que puede influir en la tinción de la cerámica^{47,49,50}, y puede favorecer la aparición de problemas mecánicos⁴⁵.

Por estas razones hemos estudiado la rugosidad superficial, pero comparar nuestros resultados con la bibliografía encontrada resulta difícil, ya que el sistema de

medición con el que tradicionalmente se han realizado este tipo de estudios ha sido la perfilometría^{54, 55} mientras que el uso de la microscopia confocal ha sido referenciada por muy pocos autores^{81,82}. De igual manera, el parámetro que han empleado los estudios encontrados, en su mayoría, es el parámetro Ra, un parámetro en 2D. Pocos autores amplían el estudio a otros parámetros de medición^{81,82}. Incluso dentro de los autores que usan el microscopio confocal laser, sólo uno utiliza los parámetros 3D que hemos empleado en nuestro estudio⁸².

Por otra parte, los estudios de superficie, pulido y rugosidad emplean mayoritariamente cerámicas feldespáticas tradicionales^{80,82,103,139}, reforzadas con leucita¹⁶¹, reforzadas con fluorapatita⁸⁰ o reforzadas con disilicato de litio^{19,80, 161}. Solo Steiner y cols emplearon un sistema similar al nuestro, el IPS Emax Press, que es un disilicato de litio para ser usado con la técnica de inyección¹⁴¹.

Los valores de Sa, rugosidad media, que obtuvimos al realizar la valoración con 10x de magnificación, cuando las muestras estaban glaseadas ($1,16 \pm 0,77 \mu\text{m}$), están en consonancia con los valores de Ra obtenidos por Aravind y cols, aunque no expresan que tipo de cerámica trabajaron¹⁴⁰ y ligeramente superiores a los de Han y cols que trabajaron con cerámicas feldespáticas tradicionales⁸¹. Estos autores usaron microscopía confocal y magnificación a 10x, igual que en nuestro estudio. Otros autores que han usado perfilometría, han obtenido valores significativamente menores a los nuestros. Camacho y cols⁶⁸ obtuvieron un Ra de $0,39 \mu\text{m}$, pero partían de una superficie inicial no tan rugosa como la nuestra, ya que ellos hicieron el ajuste inicial con disco de papel y no con fresas diamantadas, como en nuestro caso. Steiner y cols¹⁴¹ parten de una rugosidad realizada con una fresa diamantada de grano extrafino, y no fino como lo hicimos nosotros. Otros autores obtienen un Ra más bajo que nuestro Sa usando un perfilómetro y un tipo de cerámica diferente, básicamente^{59,113} cerámicas feldespáticas tradicionales y feldespáticas reforzadas. El que la cerámica sea diferente puede ser la razón de la discrepancia en los resultados, ya que autores como Yilmaz y cols y Sasahara y cols enuncian que el proceso de pulido depende del contenido de leucita de la cerámica, por lo que debe ser tomada en cuenta la

microestructura a la hora de explicar los resultados^{53,162}. Al-Wahadni y cols¹⁹ subrayan el hecho de que, una cerámica con un alto volumen de cristal, puede ser más áspera.

Los valores de Sa obtenidos con el grupo discos son de $3,01 \pm 1,20 \mu\text{m}$. Algunos estudios muestran que la cerámica feldespática reforzada con disilicato de litio puede tener una estructura resistente debido a su contenido de cristal, por lo que son difíciles de pulir con discos de óxido de aluminio, como los son los discos SOF-LEX Discs - 3M ESPE Deutschland GmbH. (Neuss. Germany). Esto explicaría porque nuestros valores son considerablemente más altos, ya que hemos estudiado una cerámica de disilicato de litio por completo⁵³.

Respecto al grupo cuyo pulido se realizó con los cepillos y el grupo pulido con el sistema DPS (gomas, cepillo y pasta diamantada) los valores de Sa, $7,53 \mu\text{m}$ y $5,28 \mu\text{m}$ respectivamente, son muy superiores a los valores de Ra obtenidos por Glavina y cols. En su metodología no describen con que instrumental simularon el ajuste intraoral, pero al igual que otros estudios mencionados, la cerámica usada fue una cerámica feldespática¹⁰³.

Yilmaz y cols refieren que los valores de Ra en los grupos pulidos, independientemente del tipo de sistema que se utiliza, se incrementaron considerablemente (entre $2,4$ y $3 \mu\text{m}$) lo cual se corresponde a lo que ha ocurrido en nuestro estudio, en donde los valores de Sa de los grupos reglaseado, piedras DPS y cepillos presentan valores de entre $2,8$ y $7,5 \mu\text{m}$ ⁵³.

Aykent y cols en su estudio valoran la rugosidad superficial, en relación a la adhesión bacteriana y una de sus conclusiones fue que los discos de pulido y las piedras proveían de un mejor acabado a la superficie que los sistemas de gomitas, pastas y cepillos, y aunque sus valores de Ra son inferiores a nuestros valores de Sa, el comportamiento de los grupos es similar⁸⁴ Cabe suponer un comportamiento similar en nuestras muestras.

Los valores de Sq, rugosidad media cuadrática, que obtuvimos al realizar la valoración con 10x de magnificación, cuando las muestras estaban glaseadas ($1,43 \pm 0,82 \mu\text{m}$), están en consonancia con los valores de Rq obtenidos por Aravind y

cols., aunque no expresan que tipo de cerámica trabajaron¹⁴⁰ y ligeramente superiores a los de Han y cols que trabajaron con cerámicas feldespáticas tradicionales⁸¹. Estos autores usaron microscopía confocal y magnificación a 10x, igual que en nuestro estudio. En cuanto a los valores de Sq en ambos estudios, en el grupo tratado con los discos SOF-LEX Discs - 3M ESPE Deutschland GmbH. (Neuss. Germany) se obtuvieron valores mucho menores a los nuestros, pudiendo ser consecuencia de la dificultad de este sistema de discos, diseñados para pulir composites, para pulir cerámicas de alta resistencia, como el disilicato de litio utilizado en nuestro estudio⁸¹.

No hemos encontrado en la literatura estudios con los que contrastar los resultados del resto de parámetros y grupos estudiados. El parámetro Sq observado en nuestro estudio es similar al del estudio de Aykent y cols, en donde los discos y piedras presentaron valores más bajos que los grupos de pastas y gomas de pulido⁸⁴.

En cuanto a los parámetros Sz y Sp, encargados de medir la altura máxima de la superficie y la altura máxima de pico, respectivamente, nos orientan respecto a cómo los diferentes tratamientos de superficie empleados pueden llegar a abrasionar los dientes o restauraciones antagonistas. Aunque no hemos encontrado estudios con los que comparar nuestros resultados, podemos inferir cuál de los tratamientos causará menos agresión al antagonista. De menor a mayor serían las reglaseadas, pulidas con piedras, sistema DPS, discos y por último los cepillos, como sistema que menos logra disminuir los picos que se forman posterior al a la simulación del ajuste intraoral y que por tanto, causarían mayor abrasión al antagonista.

Por su parte la profundidad del valle Sv, se asocia a la acumulación de la placa y cálculo. Al igual que con Sz y Sp, no encontramos estudios con los que comparar los resultados, pero podemos inferir que superficie es propensa a acumular mayor cantidad de placa bacteriana, de menor a mayor, serían las reglaseadas, pulidas con piedras, sistema DPS, discos y por último los cepillos.

Al comparar el resultado de todos los parámetros estudiados, en las dos magnificaciones aplicadas, observamos que los valores obtenidos a 50X eran más bajos que los obtenidos a 10X, para el mismo parámetro, llegando a ser muy

próximos a los valores de los estudios que usaban la perfilometría. Esto puede atribuirse al hecho de que a una magnificación mayor la zona estudiada se reduce, con lo cual se mide menos superficie.

7.2.2 Estabilidad del color.

La cerámica dental tiene una buena reproducción de los colores y de las propiedades ópticas que simulan los dientes naturales. Aunque se consideran ser estables, en cuanto al color, pueden sufrir decoloraciones, siendo esta una causa de fracaso. La decoloración puede deberse a factores intrínsecos o extrínsecos. Intrínseca por cambios dentro del propio material y factores extrínsecos implican la adsorción o absorción de los pigmentos dentro de la cavidad oral.

Atay y cols evaluaron los efectos de cuatro bebidas en el color de la porcelana feldespática sometida a cuatro tratamientos de superficie. El grupo pulido mostró mayor capacidad de tinción en comparación con el glaseado y reglaseado, lo cual concuerda con nuestros resultados. Los autores también señalaron que el tipo de solución pigmentante y el tiempo de inmersión afectaban a la estabilidad del color, pero las diferencias entre los grupos no fueron significativas. En nuestro caso sí lo fueron. Puede ser atribuible al hecho de que los valores de rugosidad en nuestro caso fueron más elevados, ya que trabajamos con un tipo de cerámica diferente¹⁶³.

Yilmaz et al compararon la estabilidad del color en cerámicas glaseadas y pulidas, antes y después de la inmersión en azul de metileno. Reportaron gran estabilidad del color en la cerámica glaseada, y valores de Delta E más altos en las pulidas, aunque en ambos grupos no fueron clínicamente detectables. Los resultados de ese estudio no se pueden comparar con los nuestros porque se utilizaron diferentes soluciones y cerámicas¹⁶³.

Los ajustes intrarorales crean, en la superficie de la cerámica, una rugosidad que la hace susceptible a decoloraciones^{118, 163,164} Albakry et al¹⁶¹ encontraron que la presión de la técnica de inyección, con la que se fabrican las restauraciones del sistema IPS Empress (Ivoclar Vivadent), cerámica reforzada con leucita, eliminaba efectivamente poros en la superficie de la cerámica. Por lo tanto, con respecto a la

capacidad de tinción, las cerámicas inyectadas son más ventajosas que las cerámicas de feldespatos.

Motro et al¹¹⁸ y Kursoglu et al,¹¹⁴ mostraron que los valores de Ra afectaban a la capacidad de tinción de la cerámica IPS e.max Ceram (Ivoclar Vivadent) y cerámica feldespática. Aunque hayan usado una cerámica diferente y valorado con parámetros en 3D, los resultados obtenidos son similares a los nuestros, ya que en nuestro estudio se encontraron también relación entre los valores de rugosidad y la tinción. Motro et al¹¹⁸ concluyeron que en el grupo reglaseado obtuvieron valores de tinción similares a los glaseados, lo que se corresponde con los resultados que hemos obtenido en este estudio. Akar et al, en un estudio donde valoraban la relación entre distintos sistemas de pulido, la rugosidad, el color y la translucidez, en tres tipos de cerámicas de recubrimiento, mostraron que la rugosidad superficial afecta significativamente el Delta E de las cerámicas tras el procedimiento de tinción. Los grupos pulidos sin pasta diamantada presentaron menos cambio del color que los que sí la usaron, correspondiéndose estos resultados a los obtenidos en nuestro estudio¹⁵¹.

En cuanto a las sustancias pigmentantes, diversos estudios muestran que el vino tinto es la sustancia con un nivel de tinción más elevado, seguido del té, y por último el café^{127, 128, 159}. En nuestro estudio también se constató este mismo comportamiento de la tinción.

Basados en los resultados, rechazamos la hipótesis nula de que la rugosidad superficial del disilicato de litio estudiado no varía con los sistemas de pulido empleados, ya que cada grupo mostró valores de rugosidad diferentes. Rechazamos la hipótesis nula de que el color de la cerámica de disilicato de litio estudiada no varía en relación a las diferentes superficies tratadas porque los grupos que mostraron una rugosidad superficial media, fueron los que obtuvieron valores de Delta E más elevados y aceptamos la hipótesis alternativa de que el color de la cerámica de disilicato de litio estudiada no varía en relación a las diferentes sustancias pigmentantes utilizadas ya que nuestras cerámicas se tiñeron dependiendo de los líquidos empleados.

8.- Conclusiones.

Con las limitaciones de este estudio podemos concluir:

1. La rugosidad superficial de las cerámicas de disilicato de litio, (IPS e.max CAD Ivoclar Vivadent, Shaan, Liechtenstein), se ve afectada por los diferentes sistemas que se emplearon para pulir la superficie, tras la remoción de la capa de glaseado, siendo las piedras verdes el sistema que presentó el mejor acabado superficial, mientras que el sistema de cepillos fue el peor.
2. La estabilidad del color de las cerámicas de disilicato de litio, (IPS e.max CAD Ivoclar Vivadent, Shaan, Liechtenstein), varía dependiendo de los métodos de tratamiento de la superficie empleados. El método de glaseado y reglaseado fueron los que menos se pigmentaron y dentro de los sistemas de pulido, las piedras verdes fueron las que mostraron mejores resultados
3. La sustancia pigmentante que más afectó en la estabilidad del color fue el vino tinto seguido del té y por último el café y en todas se notó un aumento de la tinción conforme pasaba el tiempo, hasta que se saturó.

9.- Perspectivas de futuro.

Siendo el disilicato de litio una cerámica de reciente uso y poco estudiada, el campo de investigación en cuanto a su comportamiento en el medio oral es amplio. Estudios que combinen distintos protocolos de pulido han de realizarse a fin de determinar cuál de estos sistemas puede lograr valores de rugosidad más bajos en este material, así como estudios que observen su comportamiento en medios ácidos que pueden encontrarse en la cavidad oral en condiciones extremas, tales como pacientes bulímicos, o con reflujo gastroesofágicos.

El uso de la microscopia confocal y los parámetros tridimensionales para la medición de la rugosidad superficial de los materiales dentales, abre un campo de posibilidades en el estudio de las superficies. La estandarización de la magnificación empleada, en función a la significación clínica que puede tener, ha de ser estudiada.

Se requieren estudios a largo plazo para determinar el grado de saturación que puede tener el disilicato de litio, en relación a las sustancias pigmentantes.

Otras sustancias de consumo diario deben ser estudiadas, para conocer cómo pueden afectar al disilicato de litio.

*10.- Referencias
bibliográficas.*

1. McLaren E, Whiteman Y. Ceramics: Rationale for material selection. *Compend Contin Educ Dent*. 2010 Nov-Dec;31(9):666-8, 670, 672.
2. Shenoy A, Shenoy N. Denta ceramics: an update. *J Conserv Dent*. 2010 Oct;13(4):195-203.
3. Álvarez-Fernández MA. Características generales y propiedades de las cerámicas sin metal. *RCOE*. 2003;8(5):525-546.
4. Font-Font A. Clasificación actual de las cerámicas dentales. *RCOE*. 2001;6(6): 645-656.
5. Martínez F, Pradíes R, Suárez M^a J, Rivera B. Cerámicas dentales: clasificación y criterios de selección. *RCOE*, 2007, Vol. 12, N^o4, 253-263.
6. Rizkalla AS, Jones DW. Mechanical properties of commercial high strength ceramic core materials. *Dent Mater*. 2004;20:207–12.
7. Lawson N. Burgess J. Dental ceramics: a current review. *Compend Contin Educ Dent*. 2014 Mar;35(3):161-6; quiz 168.
8. Kelly JR. Ceramics in restorative and prosthetic dentistry. *Annu Rev Mater Sci* 1997;27:443–468.
9. Giordano R. A comparison of all-ceramic restorative systems: Part 2. *Gen Dent* 2000;48:38–40, 43-45.
10. Kelly JR, P Benetti. Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice. *Australian Dental Journal* 2011; 56:(1 Suppl): 84–96
11. Anusavice KJ. *Phillips Science of Dental materials*. Amsterdam: Elsevier; 2004.
12. Adair PJ. Glass ceramic dental products. US Patent 4,431,420, 1984 - Google Patents. 1982.
13. Li R.W, Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology: state of the art. *J Prosthodont Res*. 2014 Oct;58(4):208-16. doi: 10.1016/j.jpor.2014.07.003.
14. Stookey SD. Method of making ceramics and products thereof, 1956. US Patent 2,920,971, 1960 - Google Patents
15. International Organization for Standardization. ISO 9693: 1999, Metal ceramics dental restorative systems, 1999, Geneva Switzerland. International Organization for Standardization. ISO 6872: 2008, Dental ceramic, 2008, Geneva, Switzerland.
16. Odatsu T, Jimbo R, Wennerberg A, Watanabe I, Sawase T. effect of polishing and finishing procedures on the surface integrity of restorative ceramics. *Am J Dent*. 2013 Feb;26(1):51-5.
17. Wohlwend A. Verfahren und Ofen zur Herstellung von Zahnersatzteilen. European patent 0231773. 1987.
18. Mc Lean JW. Evolution of dental ceramics in the twentieth century. *J Prosthet Dent*. 2001 Jan;85(1):61-6.
19. Al-Wahadni A. An in vitro investigation into the surface roughness of 2 glazed, unglazed, and refinished ceramic materials. *Quintessence Int* 2006;37:311–317.

20. McLean JW, Hughes TH. The reinforcement of dental porcelain with ceramic oxides. *Br Dent J* 1965;119:251-67.
21. Kelly JR. Dental ceramics: What is this stuff anyway? *J Am Dent Assoc.* 2008;139:4S-7.
22. Denry IL. Recent advances in ceramics for dentistry. *Crit Rev Oral Bio Med.* 1996;7:134-43.
23. Fradeani M, Barducci G. Lithium Disilicate Glass-Ceramic Restorations: Indications and Guidelines. Corso XI. Pesaro, Italy.
24. Li RW, et al. Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology: state of the art. *J of Prost Research* 58 (2014) 208-216.
25. Van Noort R. Introduction to dental materials. Philadelphia, Pa: Elsevier Health Sciences; 2002. p. 244.
26. Helvey GA. Retro-fitting an existing crown adjacent to a removable partial denture in a single visit. *Inside Dent.* 2009;5:34-41]
27. Barizon, K. T., et al. Ceramic materials for porcelain veneers: Part II. Effect of material, shade, and thickness on translucency. *The Journal of prosthetic dentistry*, 112(4), 864-870. 2004.
28. Andersson M, Oden A. A new all-ceramic crown. A dense-sintered, high-purity alumina coping with porcelain. *Acta Odont Scand* 1993;51:59-64.
29. Neiva G, Yaman P, Dennison JB, Razzoog ME, Lang BR. Resistance to fracture of three allceramic systems. *J Esthet Dent* 1998; 10: 60-66.
30. May KB, Russell MM, Razzoog ME, Lang BR. Precision of fit: The Procera Allceram crown. *J Prosthet Dent* 1998; 80: 394-404.
31. Sulaiman F, Chai J, Jameson LM, Wozniak WT. A comparison of the marginal fit of Inceram, IPS Empress and Procera crowns. *Int J Prosthodont* 1997; 10: 478-484.
32. Alkumru H, Hullah WR, Marquis PM, Wilson HJ. Factors affecting the fit of porcelain jacket crowns. *Br Dent J* 1988; 164: 39-43.
33. Qualtrough a. Pidcock v. Dental ceramics: what's new? *Dent update* 2002; 29: 25-33
34. Denry I, Kelly JR. State of the art of zirconia for dental applications. *Dent Mater.* 2008;24:299-307.
35. Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain MV. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of allceramic materials. Part II. Zirconia based dental ceramics. *Dent Mater.* 2004;20:449-56.
36. Piconi C, Maccauro G. Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials.* 1999;20:1-25.)
37. Denry I, Kelly J.R. Emerging Ceramic-based Materials for Dentistry. *J Dent Res* 93(12):1235-1242, 2014.
38. Sailer I, Feher A, Filser F, Lüthy H, Gauckler LJ, Scharer P, et al. Prospective clinical study of zirconia posterior fixed partial dentures: 3-year follow-up. *Quintessence Int* 2006. 37:685-693.
39. Sailer I, Feher A, Filser F, Gauckler LJ, Lüthy H, Hämmerle CH. Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. *Int J Prosthodont* 2007. 20:383-388.

40. Benetti P, Kelly JR, Sanchez M, Della Bona A (2014). Influence of thermal gradients on stress state of veneered restorations. *Dent Mater* 30:554-563.
41. Kruger S, Deubener J, Ritzberger C, Holand W (2013). Nucleation kinetics of lithium metasilicate in ZrO₂-bearing lithium disilicate glasses for dental application. *Int J Appl Glass Sci* 4:9-19.
42. Wegner LD, Gibson LJ (2001). The fracture toughness behaviour of interpenetrating phase composites. *Int J Mech Sci* 43:1771-1791.
43. Della Bona A, Corazza PH, Zhang Y (2014). Characterization of a polymerinfiltrated ceramic-network material. *Dent Mater* 30:564-569).
44. He LH, Swain M (2011). A novel polymer infiltrated ceramic dental material. *Dent Mater* 27:527-534.
45. Bessing C, Wiktorsson A. Comparison of two different methods of polishing porcelain. *Scand J Dent Res* 1983;91:482-487
46. Anmol C, Soni S. Effect of two different finishing systems on surface roughness of feldspathic and fluorapatite porcelains in ceramo-metal restorations: Comparative in vitro study. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2014 Jan;4(1):22-8
47. Al-Hiyasat AS, Saunders WP, Sharkey SW, Smith G, Gilmour WH. The abrasive effect of glazed, unglazed and polished porcelain on the wear of human enamel and the influence of carbonated soft drinks on the rate of wear. *Int J Prosthodont* 1997;10: 269-282.
48. Craig RG, Powers JM. *Restorative Dental Materials*, ed 11. St Louis: Mosby, 2002.
49. Jacobi R, Shillingburg HT, Duncanson MG. A comparison of the abrasiveness of six ceramic surfaces and gold. *J Prosthet Dent* 1991;66:303-309.
50. Tholt B, Miranda-Júnior WG, Prioli R, Thompson J, Oda M. Surface roughness in ceramics with different finishing techniques using atomic force microscope and profilometer. *Oper Dent* 2006;31:442-449.
51. Kawai K, Urano M, Ebisu S. Effect of surface roughness of porcelain on adhesion of bacteria and their synthesizing glucans. *J Prosthet Dent* 2000;83:664-667.
52. Wright M, et al. Comparison of three systems for the polishing of an ultra-low fusing dental porcelain. *J Prosthet Dent* 2004;92:486-90.
53. Martinez-Gomis J, Bizar J, Anglada JM, Samso J, Peraire M. Comparative evaluation of four finishing systems on one ceramic surface. *Int J Prosthodont* 2003;16:74-77.
54. Prasad S, Monaco E, Kim H, Davis E, Brewer J. Comparison of porcelain surface and flexural strength obtained by microwave and conventional oven glazing. *J Prosthet Dent* 2009;101:20-28.
55. Yilmaz k, Özcan P. The Methods for the Generation of Smoothness in Dental Ceramics. *Compend Contin Educ Dent* 2010 Jan-Feb;31(1):30-2, 34, 36-41.
56. Alkhiary YM, Morgano SM, Giordano RA. Effects of acid hydrolysis and mechanical polishing on surface residual stresses of low-fusing dental ceramics. *J Prosthet Dent* 2003;90:133-142.

57. Fuzzi M, Zaccheroni Z, Vallania G. Scanning electron microscopy and profilometer evaluation of glazed and polished dental porcelain. *Int J prosthodont* 1996;9:452–458.
58. Klausner LH, Cartwright CB, Charbeneau GT. Polished versus autoglated porcelain surfaces. *J Prosthet Dent* 1982;47:157–162.
59. Ma T, Johnson GH, Gordon GE. Effects of chemical disinfectants on surface characteristics and color of three fixed prosthodontic crown materials. *J Prosthet Dent* 1999;82:600–607.
60. Sarac D, Sarac S, Yuzbasioglu E, Bal S. The effects of porcelain systems on the color and surface texture of feldspathic porcelain. *J Prosthet Dent* 2006;96:122–128.
61. Vieira A, Oliveira M, Lima E, Rambob I, Leite M. Evaluation of the Surface Roughness in Dental Ceramics Submitted to Different Finishing and Polishing Methods. *J Indian Prosthodont Soc* (July-Sept 2013) 13(3):290–295.
62. Newitter DA, Schlissel ER, Wolff MS. An evaluation of adjustment and postadjustment finishing techniques on the surface of porcelain-bonded-to-metal crowns. *J Prosthet Dent*. 1982;48:388–95.
63. Olivera AB, Matson E, Marques MM. The effect of glazed and polished ceramics on human enamel wear. *Int J Prosthodont*. 2006;19:547–8.
64. Palmer DS, Barco MT, Pelleu GB, Jr, McKinney JE. Wear of human enamel against a commercial castable ceramic restorative material. *J Prosthet Dent*. 1991;65:192–5.
65. Jagger DC, Harrison A. An *in vitro* investigation into the wear effects of unglazed, glazed, and polished porcelain on human enamel. *J Prosthet Dent*. 1994;72:320–3.
66. Obregon A, Goodkind RJ, Schwabacher WB. Effects of opaque and porcelain surface texture on the color of ceramometal restorations. *J Prosthet Dent*. 1981;46:330–40.
67. Jefferies SR. Abrasive finishing and polishing in restorative dentistry: A state-of-the-art review. *Dent Clin North Am*. 2007;51:379–97.
68. Camacho G, et al. Surface Roughness of a Dental Ceramic After Polishing with Different Vehicles and Diamond Pastes. *Braz Dent J* (2006) 17(3): 191-194.
69. Haywood VB, Heymann HO, Scurria MS. Effects of water, speed, and experimental instrumentation on finishing and polishing porcelain intra-orally. *Dent Mater*. 1989;5:185–8.
70. Scurria MS, Powers JM. Surface roughness of two polished ceramic materials. *J Prosthet Dent*. 1994;71:174–7
71. Bottino MC, Valandro LF, Kantorski KZ, Bressiani JC, Bottino MA. Polishing methods of an alumina-reinforced feldspar ceramic. *Braz Dent J*. 2006;17(4):285-9.
72. Fu Wang, et al. Surface Roughness of a Novel Dental Porcelain Following Different Polishing Procedures. *Int J Prosthodont* 2009;22:178–180.
73. Asahara RM, et al. Influence of the Finishing Technique on Surface Roughness of Dental Porcelains with Different Microstructures. *Operative Dentistry*, 2006, 31-5, 577-583.

74. Karan S, Toroglu M. Porcelain Refinishing with Two Different Polishing Systems after Orthodontic Debonding. *Angle Orthodontist*, Vol 78, No 5, 2008, 947-53.
75. Han G, et al. Performance of a novel polishing rubber wheel in improving surface roughness of feldspathic porcelain. *Dental Materials Journal* 2014; 33(6): 739–748.
76. Al-Shammery H, et al. The use of confocal microscopy to assess surface roughness of two milled CAD–CAM ceramics following two polishing techniques. *Dental materials* 23 (2007) 736–741.
77. Capelozza JM, et al. Effect finishing and polishing procedures on the surface roughness of IPS Empress 2 ceramic. *Acta odontológica Scandinavica*, 2013; 71: 438–443.
78. Aykent F, et al. Effect of different finishing techniques for restorative materials on surface roughness and bacterial adhesion. *J Prosthet Dent* 2010;103:221-227.
79. Thomas TR. *Rough Surfaces*. London-New Cork. Longman Press. 1982.
80. Wennerberg A. *On Surface Roughness and Implant Incorporation*. Phd Thesis. University of Göteborg, Göteborg. 1996.
81. A. Sanz-Lobera, A.A. Negre, R. Fernández, F. Calvo-Narvaez. Comparative study about the use of two and three-dimensional methods in surface finishing characterization .Proceedings of the 5th Manufacturing Engineering Society International Conference – Zaragoza – June 2013.
82. Stout KJ. “Three-dimensional Surface Topography: easurement, Interpetation, and Applications. A Survey and Bibliography”. Penton Press, London-Bristol-Pennsylvania (1994).
83. J. Díaz. G, Oncins. *Microscopía Óptica Avanzada aplicada a materiales*. Conceptos de rugosidad. Unidad de Microscopía de Rastreo, Centro Científico y Tecnológico de la Universitat de Barcelona. (CCiT-UB)
84. Sidhu SK, Watson TF. Interfacial characteristics of resin-modified glass-ionomer materials: a study on fluid permeability using confocal fluoescence microscopy. *J Dent Res*. 1998 Sep;77(9):1749-59.
85. Martinez A. *Microscopía Láser Confocal*. Servicio de proceso de imágenes. Universidad de Oviedo. Oviedo.
86. Xiao G, Kino G. “A real-time confocal scanning microscope”, *SPIE Proc. Scan. Img. Tech*. 609, 107-113 (1987).
87. Gruber A, Drabenstedt A, Tietz C, Fleury L, Wrachtrup J, Von Borczyskowski C. “Scanning Confocal Optical Microscopy and Magnetic Resonance on Single Defect Centers”. *Science* 276, 5321, 2012-2014 (1997).
88. T. Wilson and C. Sheppard. “Theory and practice of confocal scanning optical microscopy”, 1sted. Academic Press, London. J. B. Pawley. “Handbook of Biological Confocal Microscopy”, 2nded. Plenum Press, NY (1995).
89. M.A. Schmidt, R. D. Compton “. Friction, lubrication, and wear technology. *ASMIInternational*”, 18, 357–361 (1992).
90. Wilson, *Confocal microscopy*. Academic Press.(1990).

91. Vörös J, Wieland M, Ruiz-Taylor L, Textor M, Brunette DM. Characterization of titanium surfaces. *Titanium in medicine: material science, engineering, biological responses and medical applications*. Springer. Verlag, Berlin (2001), p 87-144.
92. R. Amaral. L. Ho Chong. "Surface Roughness". *MatE* 210 (2002).) (ASME B46 Committee on Surface Texture.
93. E.S. Gadelmawla, M.M. Koura, T.M.A. Maksoud, I.M. Elewa, H.H. Soliman. "Roughness Parameters" *Journal of Materials Processing Technology* 123, Number 1, 133-145 (13) (2002).)
94. K.J. Stout, P.J. Sullivan, W.P. Dong, E. Mainsah, N. Luo, T. Mathia, H. Zahouan."The development of methods for the characterization of roughness in three dimensions". COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. Eur 15178 (1993).
95. www.michmet.com/texture_parameters_index_by_name.html
96. www.olympusms.com/en/knowledge/metrology/roughness/3d_parameter/)(www.imagemet.com/WebHelp6/Content/RoughnessParameters/Roughness_Parameters.htm)(<http://zeus.plmsc.psu.edu/~manias/MatSc597/roughness/definitions.html>
97. Glavina D, Skrinjaric I, Mahovic s, Majstorovic M. Surface quality of Cerec CAD/CAM ceramic veneers treated with four different polishing systems. *Eur J Paediatr Dent* 2004 Mar;5(1):30-4.
98. Smielak B, Klimek L. Effect of hydrofluoric acid concentration and etching duration on select surface roughness parameters for zirconia. *J Prosthet Dent* 2015;113:596-602.
99. Cuevas L, Herrera M.L, Santa María L. (1991). Métodos de microscopía electrónica de barrido. In: *Técnicas de inmunocitoquímica en microscopía electrónica*. (Durfort M., Vilaró S., Renau J. & Serratosa J., eds.).pp: 253-267. Barcelona, Universitat de Barcelona.
100. Van Nostrand R. *Principies and techniques of scanning electron microscopy*. Vols. 1 y 2. New York,.HAYAT, M.A. (ed.) (1974).
101. Watt, Ian, M. *The principles and practice of electron microscopy*. Second edition. Cambridge University press. Great Britain. 1997.
102. Dykstra, Michael, J. *A manual of applied techniques for biological electron microscopy*. Plenum press. New York. 1993.
103. Melo at al. Blanqueamiento vital y métodos para la valoración de su eficacia y estabilidad. *Revista CES Odontologia* Vol 19 Nº2 2006. Joiner. A, tooth color: a review of the literatura. *Journal of dentistry* (2004) 32, 3-12.
104. Johnston W. Color measurement in dentistry. *J Dent*. 2009;37 Suppl 1:e2-6.
105. Ardu S, Braut V, Di Bella E, Lefever D. Influence of background on natural tooth colour coordinates: an in vivo evaluation. *Odontology* 2014 Jul;102(2):267-71.
106. Yuzugullu B, Ceik C, Erkut S, Ozcelik T. The Effects of Extraoral Porcelain Polishing Sequences on Surface Roughness and Color of Feldspathic Porcelain. *Int JProsthodont* 2009;22:472-475.
107. Kursoglu P, Motro P, Kazazoglu E. Correlation of surface texture with the stainability of ceramics. *J Prosthet Dent* 2014; 112:306-313.

108. Ahn JS, Lee YK. Color distribution of a shade guide in the value, chroma, and hue scale. *J Prosthet Dent*. 2008 Jul; 100(1):18-28.
109. Lee YK, Powers JM. Comparison of CIE lab, CIEDE 2000, and DIN 99 color differences between various shades of resin composites. *Int J Prosthodont*. 2005 Mar-Apr;18(2):150-5
110. Gómez-Polo C, Miguel Gómez-Pol M, Celemin-Viñuela A, Martínez J. Differences between the human eye and the spectrophotometer in the shade matching of tooth colour. *J of Dentistry*. 42 (2014) 742-745.
111. Motro PF, Kursoglu P, Kazazoglu E. Effects of different surface treatments on stainability of ceramics. *J Prosthet Dent* 2012;108:231-237.
112. Chu S, Trushkowsky R, Paravina R. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J of dentistry*. 38s (2010)e2-e16
113. Corciolani G, Vichi A, Louca CH, Ferrari M. Color match of two different ceramic systems to selected shades of one shade guide. *J Prosthet Dent* 2011;105:171-176
114. Okubo S, Kanawati A, Richards MW, Childress S. Evaluation of visual and instrument shade matching. *Journal of Prosthetic Dentistry* 998;80:642-8.
115. Ishikawa-Nagai S, Yoshida A, Sakai M, Kristiansen J, Da Silva JD. Clinical evaluation of perceptibility of color differences between natural teeth and all-ceramic crowns. *Journal of Dentistry* 2009; 37:e57-63.
116. Christensen GJ. The ceramic restoration dilemma: where are we? *J Am Dent Assoc* 2011;142:668-71.
117. Chu SJ. Current clinical strategies with lithium-disilicate restorations. *Compend Contin Educ Dent* 2012;33:64-7.
118. Pieger S, Salman A, Bidra AS. Clinical outcomes of lithium disilicate single crowns and partial fixed dental prostheses: A systematic review. *Prosthet Dent*. 2014 Jul;112(1):22-30.
119. Asai T, Kazama R, Fukushima M, Okiji T. Effect of overglazed and polished surface finishes on the compressive fracture strength of machinable ceramic materials *Dent Mater J*. 2010 Nov;29(6):661-7.
120. Stawarczyk B. Discoloration of manually fabricated resins and industrially fabricated CAD/CAM blocks versus glass-ceramic: Effect of storage media, duration, and subsequent polishing. *Dental Materials Journal* 2012; 31(3): 377-383.
121. Karagoz P, Kursoglu P, Kazazoglu E. Effects of different surface treatments on stainability of ceramics. *J Prosthet Dent* 2012;108:231-237.
122. Jung M. Finishing and Polishing of a Hybrid Composite and a Heat-Pressed Glass Ceramic. *Operative Dentistry*, 2002, 27, 175-183 .
123. Capelozza JM, et al. Effect finishing and polishing procedures on the surface roughness of IPS Empress 2 ceramic. *Acta odontológica Scandinavica*, 2013;

- 124.Odatsu T, Jimbo R, Wennerberg A, Watanabe I, Sawase T. effect of polishing and finishing procedures on the surface integrity of restorative ceramics. *Am J Dent*. 2013 Feb;26(1):51-5.
- 125.De Alcantara A, et al. Ceramic Surface Polishing Techniques After Removal of Orthodontic Adhesive. *Angle orthodontic*. 2009;79:790-795.
- 126.Oliveira-Junior O. Influence of polishing procedures on the surface roughness of dental ceramics made by different techniques. *Gen Dent* 2013 Jan-Feb;61(1):e4-8.
- 127.Aravin P et al. Comparison of porcelain surface and flexural strength obtained by microwave and conventional oven glazing. *J Prosthet Dent* 2009; 101:20-28.
- 128.Firoozmand L, Faria R, Araujo M. A, Di Nicoló R, Huthala M. F. Temperature rise in cavities prepared by high and low torque handpieces and Er:YAG laser. *B Dent J* 2008 Jul 12; 205(1):E1; discussion 28-9.
- 129.Haywood VB, Heymann HO, Scurria MS. Effects of water, speed, and experimental instrumentation on finishing and polishing porcelain intra-orally. *Dent Mater*. 1989;5:185–8.
- 130.Scurria MS, Powers JM. Surface roughness of two polished ceramic materials. *J Prosthet Dent*. 1994;71:174–7
131. Kursoglu P, et al. Correlation of surface texture with the stainability of ceramics. (*J Prosthet Dent* 2014;112:306-313)
- 132.Ahmad R, et al. An evaluation of the effects of handpiece speed, abrasive characteristics, and polishing load on the flexural strength of polished ceramics. *J Prosthet Dent* 2005;94:421-9.
- 133.Aravind P et al. Comparative evaluation of the efficiency of four ceramic finishing systems. *J Inr Oral health* 2013 Oct;5(5):59-64. Epub 2013 Oct 26.
- 134.Steiner R, et al. Adjusting dental ceramics: An in vitro evaluation of the ability of various ceramic polishing kits to mimic glazed dental ceramic surface. *J Prosthet Dent*. 2015 Jun;113(6):616-22
- 135.Heurich E, Beyer M, Jandt K, Reichert J, Herold V, Schnabelrauch M, Sigush B. Quantification of dental erosion—a comparison of stylus profilometry and confocal laser scanning microscopy (CLSM). *Dent Mater* 2010 Apr;26(4):326-36.
- 136.Wennerberg A, Ohlsson R, Rosén BG, Andersson B. Characterizing three-dimensional topography of engineering and biomaterial surfaces by confocal laser scanning and stylus techniques. *Med Eng Phys* 1996; 18:548-56.
- 137.Ruschel V, Maia H, Lopes G. Influence of external and internal surface roughness modifications on ceramic flexural strength. *J Prosthet Dent* 2014 Oct; 112(4):903-8.
- 138.Horn DL, Bulan-Brady J, Hicks ML. Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade. *Journal of Endodontics* 1998;24: 786–90.
- 139.Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hammerle CH. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *Journal of Dental Research* 2002;81:578–82.

140. Lee YK, Powers JM. Comparison of CIE lab, CIEDE 2000, and DIN 99 color differences between various shades of resin composites. *Int J Prosthodont*. 2005 Mar-Apr;18(2):150-5
141. Shrama G, Wu W, Daal E. The CIEDE2000 Color-Difference Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observations. *Color research and aplic*. Feb 2005. Vol 30, Num 1. 21-30.
142. Ma YG, Zhang N, Deng XL. Influence of background color on chromatic value of four all-ceramic system core materials. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*. 2010;45:367-9.
143. Ardu S, Gutemberg D, Krejci I, Feilzer AJ, Di Bella E, Dietschi D. Influence of water sorption on resin composite color and color variation amongst various composite brands with identical shade code: an in vitro evaluation. *J Dent*. 2011;39(Suppl 1):e37-44.].
144. Akar G, et al. Effects of surface-finishing protocols on the roughness, color change, and translucency of different ceramic systems. *J Prosthet Dent* 2014;112:314-321
145. Tan BL, Yap A, Ma H, Chew J, Tan WJ. Effect of Beverages on Color and Translucency of New Tooth-Colored Restoratives. *Operative Dentistry*, 2015, 40-2, E56-E65.
146. Dallazem a, Della Bona A. The effect of a coupling medium on color and translucency of CAD-CAM ceramics. *J Dent* 2013.
147. Yılmaz C, Korkmaz T, Demirkoprulu H, Ergun G, Ozkan Y. Color stability of glazed and polished dental porcelains. *J Prosthet Dent* 2008;17:20-4.
148. Ayad NM. Susceptibility of restorative materials to staining by common beverages: an in vitro study. *Eur J Esthet Dent* 2007;2:236-47.
149. Douglas RD. Color stability of new-generation indirect resins for prosthodontic application. *J Prosthet Dent* 2000;83:166-7.
150. Guler AU, Kurt S, Kulunk T. Effects of various finishing procedures on the staining of provisional restorative materials. *J Prosthet Dent* 2005;93:453-8.
151. Guler AU, Yılmaz F, Kulunk T, Guler E, Kurt S. Effects of different drinks on stainability of resin composite provisional restorative materials. *J Prosthet Dent* 2005;94:118-24.
152. De Oliveira CB, Maia LG, Santos-Pinto A, Gandini Júnior LG. In vitro study of color stability of polycrystalline and monocrystalline ceramic brackets. *Dental Press J Orthod*. 2014 July-Aug;19(4):114-21
153. Jain C, Bhargava A, Gupta S, Rath R, Nagpal A, Kumar P. Spectrophotometric evaluation of the color changes of different feldspathic porcelains after exposure to commonly consumed beverages. *Eur J Dent* 2013;7:172-80.
154. Bollen CML, Lambrechts P, Quirynen M. Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: A review of the literature. *Dent Mater* 1997;13: 258-269.9
155. Silva MFA, Davies RM, Stewart B, et al. Effect of whitening gels on the surface roughness of restorative materials in situ. *Dent Mater* 2005;22:919-924.

156. Brewer JD, Garlapo DA, Chipps EA, Tedesco LA. Clinical discrimination between autoglazed and polished porcelain surfaces. *J Prosthet Dent* 1990;64:631–635.
157. Chu FC, Frankel N, Smales RJ. Surface roughness and flexural strength of self-glazed, polished and reglazed In-Ceram/Vitadur Alpha porcelain laminates. *Int J Prosthodont* 2000;13:66–71.
158. Albakry M, Guazzato M, Vincent Swain M. Effect of sandblasting, grinding, polishing and glazing on the flexural strength of two pressable all-ceramic dental materials. *Journal of Dentistry* (2004) 32, 91–99.
159. Yılmaz K, Özkan P. Profilometer evaluation of the effect of various polishing methods on the surface roughness in dental ceramics of different structures subjected to repeated firings. *Quintessence Int* 2010;41:e125–e131.
160. Sasahara RMC, Riberio FC, Cesar PF, Yoshimura HN. Influence of the finishing technique on surface roughness of dental porcelains with different microstructures. *Oper Dent* 2006;31:557–583.
161. Atay A, Karayazgan B, Ozkan Y, Akyil MS. Effect of colored beverages on the color stability of feldspathic porcelain subjected to various surface treatments. *Quintessence Int* 2009;40:41-8.
162. Yılmaz C, Korkmaz T, Demirköprülü H, Ergün G, Ozkan Y. Color stability of glazed and polished dental porcelains. *J Prosthodont* 2008;17:20-4.

11.- Resumen.

La gran demanda de tratamientos estéticos por parte de los pacientes, supone un reto para los rehabilitadores orales, por lo que siempre están en búsqueda del material ideal.

Las cerámicas dentales, poseen características que le permiten mimetizar la apariencia de los dientes naturales, por sus propiedades físicas y químicas, las cuales dependen de su composición. Poseen una fase vítrea que le aporta características estéticas y una fase cristalina que le aporta propiedades mecánicas. Clínicamente, es el conocimiento de la composición química la cerámica lo que le permitirá al odontólogo hacer una selección correcta a la hora de rehabilitar a sus pacientes.

Dentro de la clasificación de las cerámicas, de acuerdo a su composición química están las cerámicas vítreas reforzadas, siendo el disilicato de litio la de más reciente aparición, por lo que muchos aspectos de ella están poco estudiados.

El color de una restauración y su estabilidad en el tiempo es uno de los aspectos más buscados por el odontólogo, esta estabilidad puede verse afectada por características propias del material, hábitos de consumo de sustancias pigmentantes, por parte del paciente, o por actos clínicos que puede realizar el profesional.

Aun cuando la literatura refiere que las restauraciones no deben ser ajustadas, una vez cementadas en la boca del paciente, son muchas las situaciones clínicas que obligan a realizar esta maniobra, quedando expuesta la estructura cerámica a los pigmentos de la cavidad oral, por otra parte dependiendo del tipo de cerámica, del instrumental con el que se haga el ajuste y con el que se haga un pulido posterior, puede originarse un deterioro de las características de estas.

Dado que el disilicato de litio es una cerámica poco estudiada y en especial el apartado que relaciona la rugosidad superficial con la estabilidad del color, se decidió hacer este trabajo de investigación.

En el cual se obtuvieron resultados que indican que hay una relación directa entre la estabilidad del color y la superficie de la cerámica, así como una capacidad de tinción diferente según la sustancia estudiada y el tiempo transcurrido.

12.- Anexos.



Comitè
d'Ètica
de Recerca

Universitat
Internacional
de Catalunya

CARTA APROVACIÓ DIRECTA PROJECTE PEL CER

Codi de l'estudi: PRT-ELM-2013-06

Versió del protocol:1.0

Data de la versió:27/02/13

Títol:"Estabilidad del color de las cerámicas de disilicato de litio".

Sant Cugat del Vallès, 12 de març de 2013

Investigadora: Rosario Cedeño Salazar

Títol de l'estudi: "Estabilidad del color de las cerámicas de disilicato de litio".

Benvolgut(da),

Valorat el projecte presentat, el CER de la Universitat Internacional de Catalunya, considera que, el contingut de la investigació, no implica cap inconvenient relacionat amb la dignitat humana, respecte als animals, ni atempta contra el medi ambient, ni té conflictes econòmics i d'interessos.

Per aquests motius, el Comitè d'Ètica de Recerca, **RESOLT FAVORABLEMENT**, emetre aquest **CERTIFICAT D'APROVACIÓ**, per que pugui ser presentat a les instàncies que així ho requereixin.

Em permeto recordar-li que si en el procés d'execució es produís algun canvi significatiu en els seus plantejaments, hauria de ser sotmès novament a la revisió i aprovació del CER.

Atentament,

Dr. Josep Argemí
President CER-UIC

Barcelona, 13 de febrero de 2013

Sra. Rosario Cedeño Salazar
Girona 21, 6º, 1ª
08172, Sant Cugat Del Vallés

Estimada Sra.

Por la presente, le comunico que la Comisión Académica del Doctorado en Ciencias de la Salud, en la su sesión del 8 de febrero de 2013, y una vez estudiada su solicitud ha acordado:

Se acuerda admitir a la Sra. Rosario Cedeño Salazar al Periodo de Investigación del Doctorado en Odontología.

Se acuerda aprobar el Proyecto de Tesis titulado "Estabilidad del color de las cerámicas de dislicato de litio", y nombrar al Dr. Oscar Figueras Álvarez como Director de la Tesis y al Dr. Jordi Cano como Codirector.

Adicionalmente, se le informa que la normativa de la UIC establece que debe obtener una evaluación favorable del Comité de Ética en la Investigación, antes de la puesta en marcha de la investigación.

Aprovecho la oportunidad para saludarla cordialmente,



Jaime Oliver Serrano
Secretario Comisión Académica
Doctorado en Ciencias de la Salud

REGISTRE GENERAL

Sortida

7/02/14

Data

14 02 13

