

***Universidad Abierta Interamericana***

***Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud***

***Carrera Odontología***



***“Análisis dimensional de modelos obtenidos por escáneres intraorales e impresión 3D en comparación con modelos obtenidos mediante técnicas tradicionales en Odontología: un estudio in vitro”***

Director de la carrera: Grandinetti, José Alberto

Tutora: Garrofé, Analía Beatriz

Autor: Muñiz, Ramón Francisco

*Trabajo Final para obtener título de Odontólogo*

*Agosto 2020*

## **Resumen**

**Objetivo:** el objetivo de este trabajo “in-vitro” fue establecer una comparación dimensional entre los modelos obtenidos mediante impresión 3D a partir de escáneres intraorales, y los modelos de yeso obtenidos a partir de impresiones realizadas con materiales de impresión viscoelásticos.

**Materiales y métodos:** se confeccionó un modelo dentado en resina epoxi el cual fue escaneado y editado para confeccionar un modelo maestro CAD. Este modelo fue impreso por la técnica de estereolitografía (impresora Stratasys Objet 260). Posteriormente se confeccionaron impresiones convencionales (alginato, siliconas por adición y por condensación) a partir del modelo de referencia, obteniendo modelos con yeso dental de tipo IV, los cuales se escanearon con el escáner intraoral (Planmeca® Emerald y Cerec® Bluecam) y extraoral (EGSolution® DScan 3). La precisión se midió superponiendo los modelos digitales dentro de cada grupo. La superposición de los modelos digitales sobre el modelo de referencia digital del escáner EGSolution DScan 3 (que mostró la menor diferencia dimensional con el CAD original) permitió evaluar la precisión de cada método de impresión.

**Resultados:** el escáner EGSolution DScan 3 resultó ser el más preciso de los escáneres digitales con respecto al CAD (RMS 0,0922). La precisión de las impresiones convencionales realizadas con alginato, respecto al digital, mostraron diferencias estadísticamente significativas (media RMS=0,1953) respecto a las siliconas que no mostraron diferencias entre sí (SA: RMS=0,0853, SC: RMS=0,112).

**Conclusiones:** las impresiones con silicona por adición y condensación no mostraron diferencias significativas con respecto a las impresiones del escáner extraoral EGSolutions DScan 3, no así las impresiones realizadas con alginato, las cuales mostraron los mayores valores de discrepancia hallándose diferencias estadísticamente significativas con el resto de los materiales utilizados y el escaneo extraoral.

## **Palabras clave:**

*Imagen 3D, impresión 3D, técnicas de impresión dental, modelo dental, materiales dentales para impresión*

## **Summary**

**Objective:** the objective of this "in-vitro" study was to establish a dimensional comparison between the models obtained by 3D printing from intraoral scanners, and the plaster models obtained from impressions made with viscoelastic impression materials.

**Materials and methods:** a dental model was made in epoxy resin which was scanned and edited to make a CAD master model. This model was printed by the stereolithography technique (Stratasys Objet 260 printer). Subsequently, conventional impressions (alginate, addition and condensation silicones) were made from the reference model, obtaining models with type IV dental plaster, which were scanned with the intraoral scanner (Planmeca<sup>®</sup> Emerald and Cerec<sup>®</sup> Bluecam) and extraoral (EGSolution<sup>®</sup> DScan 3). Accuracy was measured by overlaying the digital models within each group. The superposition of the digital models on the digital reference model of the EGSolution DScan 3 scanner (which showed the smallest dimensional difference with the original CAD) allowed to evaluate the precision of each impression method.

**Results:** The EGSolution DScan 3 scanner was found to be the most accurate of the digital scanners with respect to CAD (RMS 0.0922). The precision of conventional impressions made with alginate, compared to digital, showed statistically significant differences (mean RMS = 0.1953) with respect to silicones that did not show differences between them ( mean SA: RMS = 0.0853, mean SC: RMS = 0.112 ).

**Conclusions:** the impressions with addition and condensation silicone did not show significant differences with respect to the impressions of the EGSolutions DScan 3 extraoral scanner, not the impressions made with alginate, which showed the highest discrepancy values, finding statistically significant differences with the rest of the the materials used and the extraoral scan.

## **Key words:**

*3d imaging, printing/three-dimensional, dental impression technique, dental model, dental impression materials*

## *Tabla de contenido*

|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| INTRODUCCIÓN.....                                                 | 9   |
| Técnicas tradicionales .....                                      | 11  |
| Materiales elásticos para impresión .....                         | 13  |
| Confección del modelo.....                                        | 17  |
| Técnicas Digitales .....                                          | 19  |
| CAD/CAM .....                                                     | 19  |
| Fase de diseño por ordenador (CAD).....                           | 20  |
| Definición de escáneres de uso odontológico .....                 | 22  |
| Escáneres intraorales .....                                       | 23  |
| Protocolo de escaneo intraoral .....                              | 24  |
| Escáneres extraorales .....                                       | 26  |
| Fase de prototipado (CAM).....                                    | 26  |
| MATERIALES Y MÉTODOS .....                                        | 30  |
| Impresiones y modelos obtenidos por técnicas convencionales ..... | 38  |
| Materiales utilizados .....                                       | 38  |
| RESULTADOS .....                                                  | 49  |
| DISCUSIÓN .....                                                   | 53  |
| CONCLUSIONES .....                                                | 60  |
| ANEXOS .....                                                      | 61  |
| BIBLIOGRAFÍA .....                                                | 124 |

## ***Lista de Tablas***

|                                                                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Diferencias confección entre exactitud y precisión según los valores medios y verdaderos                                                                                                             | 10 |
| Tabla 2: Características técnicas del escáner Planmeca® Emerald                                                                                                                                               | 34 |
| Tabla 3: Características técnicas del escáner Planmeca® Emerald                                                                                                                                               | 36 |
| Tabla 4: Materiales utilizados                                                                                                                                                                                | 38 |
| Tabla 4: Discrepancias encontradas en los escaneos intraorales y extraoral respecto del modelo CAD.                                                                                                           | 49 |
| Tabla 5: Valores promedio, desvío estándar y máximos positivos y negativos de los tres dispositivos evaluados.                                                                                                | 49 |
| Tabla 6: Valores promedio, desvío estándar y máximos positivos y negativos para analizar la repetitividad del escáner Bluecam.                                                                                | 50 |
| Tabla 7: Valores promedio, desvío estándar y máximos positivos y negativos para analizar la repetitividad del escáner Planmeca.                                                                               | 50 |
| Tabla 8: Valores promedio, desvío estándar y máximos positivos y negativos para analizar la repetitividad de la impresora Objet260 tomando como referencia el escáner maestro del escáner intraoral Planmeca. | 50 |
| Tabla 9: Valores de RMS (root mean square o raíz cuadrada de la media cuadrática o error cuadrático medio) obtenidos del análisis de la superposición de modelos.                                             | 50 |
| Tabla 10: Análisis estadístico - ANOVA                                                                                                                                                                        | 51 |
| Tabla 11: Análisis estadístico - Test de comparaciones múltiples                                                                                                                                              | 51 |
| Tabla 12: Análisis estadístico - Prueba de Tukey                                                                                                                                                              | 52 |

## *Lista de Figuras*

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Diferencias entre exactitud y precisión.....                                                                                                      | 10 |
| Figura 2: Clasificación de materiales de impresión.....                                                                                                     | 13 |
| Figura 3: Esquema de reacción en una silicona de polimerización por condensación.....                                                                       | 15 |
| Figura 4: Esquema de reacción en una silicona de polimerización por adición.....                                                                            | 16 |
| Figura 5: Detalle de una malla (“mesh”), en archivo .obj .....                                                                                              | 20 |
| Figura 6: Detalle de una malla (“mesh”) en un archivo .stl (izq.). Detalle de coordenadas cartesianas de un triángulo de la malla 3D. ....                  | 21 |
| Figura 7: Clasificación de escáneres intraorales de uso odontológico .....                                                                                  | 23 |
| Figura 8: Recomendaciones según protocolo de escaneo para el registro de la arcada superior ....                                                            | 24 |
| Figura 9: Recomendaciones según protocolo de escaneo para el registro de la arcada inferior ....                                                            | 24 |
| Figura 10: Recomendaciones según protocolo de escaneo para el registro de oclusión (1. Sector anterior, 2. Sector posterior).....                           | 25 |
| Figura 11: Clasificación de escáneres extraorales de uso odontológico.....                                                                                  | 26 |
| Figura 12: Clasificación de técnicas CAM.....                                                                                                               | 26 |
| Figura 13: Representación gráfica del funcionamiento de una impresora con sistema de Estereolitografía (STL) .....                                          | 27 |
| Figura 14: Representación del diseño del modelo de resina epoxi y la sucesiva incorporación del scan-body Federa .....                                      | 30 |
| Figura 15: Visualización de la selección del área de trabajo y posterior diseño del modelo CAD MAESTRO. ....                                                | 31 |
| Figura 16: Impresora Stratasys Objet 260; número de serie 240026; fabricada en 2015.....                                                                    | 32 |
| Figura 17: VeroDentPlus™ MED690 (Stratasys Ltd.) número de lote MTL14643.....                                                                               | 32 |
| Figura 18: Modelo Principal en vista oclusal, vestibular y palatino respectivamente. ....                                                                   | 33 |
| Figura 19: Escaner Planmeca® Emerald, número de serie 410755 fabricado en Nov. 2017 .....                                                                   | 33 |
| Figura 20: Representación del escaneo utilizando el escáner Planmeca® Emerald y su visualización gráfica en el software Planmeca® Romexis versión 4.6 ..... | 34 |
| Figura 21: Representación del escaneo utilizando el escáner CEREC® BlueCam y su visualización gráfica en el software CEREC® InLab 4.2 .....                 | 35 |
| Figura 22: Numero de serie del escaner CEREC® BlueCam .....                                                                                                 | 35 |
| Figura 23: Polvo de oxido de titanio (DENU Easy Scan) aplicado sobre el Modelo Principal .....                                                              | 36 |
| Figura 24: Escáner EGSolutions DScan 3 y detalle del numero de serie y la plataforma de escaneo respectivamente .....                                       | 37 |
| Figura 25: Seteos dentro del software DentalCad v3 y resultado del escaneo con errores de GAPS que fueron resueltos por el mismo software.....              | 37 |
| Figura 26: Balanza digital modelo Sck-500 (GAMMA, Italia).....                                                                                              | 38 |
| Figura 27: Alginato CHROM IQ (LASCOD, Italia), cubeta parcial tipo Rim-Lock e impresión del Modelo Principal con alginato .....                             | 39 |

|                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 28: Modelos obtenidos en Yeso densita Densell Densita tipo IV (DMG, Densell, Argentina) con las impresiones de Alginato. ....                                                                            | 40 |
| Figura 29: Silicona masilla y fluida Speedex (Coltène/Whaledent Inc., USA) junto al activador universal (Coltène/Whaledent Inc., USA). a la derecha se muestra la impresión obtenida con estos materiales. .... | 40 |
| Figura 30: Modelos obtenidos en Yeso densita Densell Densita tipo IV (DMG, Densell, Argentina) con las impresiones de Silicona por condensación. ....                                                           | 41 |
| Figura 31: Silicona masilla y fluida PRESIDENT The Original (Coltène/Whaledent Inc., USA) ..                                                                                                                    | 42 |
| Figura 32: Impresión en dos tiempos del modelo principal utilizando la Silicona por adición masilla y fluida PRESIDENT The Original (Coltène/Whaledent Inc., USA) ..                                            | 42 |
| Figura 33: Modelos obtenidos en Yeso densita Densell Densita tipo IV (DMG, Densell, Argentina) con las impresiones de Silicona por adición. ....                                                                | 42 |
| Figura 34: Parámetros y zonas seleccionados del CAD MAESTRO para realizar las comparaciones                                                                                                                     | 44 |
| Figura 35: Función “best fit” del software GOM Inspect 2019 .....                                                                                                                                               | 44 |
| Figura 36: Función “Surface Comparison on CAD” en GOM Inspect 2019 .....                                                                                                                                        | 45 |
| Figura 37: Mapa de color dentro del software GOM Inspect 2019 .....                                                                                                                                             | 45 |
| Figura 38: Altura de pieza 25 y distancia mesio-distal de la misma. ....                                                                                                                                        | 46 |
| Figura 39: Distancia lineal entre ángulo disto incisal y el punto mas distal de pieza 26. ....                                                                                                                  | 46 |
| Figura 40: Volumen tridimensional del analogo de implante de la pieza 24. ....                                                                                                                                  | 46 |
| Figura 41: Representación del recorrido de la luz en los escáneres con la tecnología de muestreo activo de fuente de onda, video continuo y luz azul. Principio de Active Wavefront sampling de 3M® .....       | 62 |
| Figura 42: Representación gráfica del recorrido de la luz en los escáneres con tecnología de Sistema Paralelo Confocal, fotogramas secuenciales y láser rojo. ....                                              | 63 |
| Figura 43: Representación del recorrido de la luz en los escáneres con tecnología de Tomografía de coherencia óptica o sensor confocal y láser azul. ....                                                       | 64 |
| Figura 44: Representación del recorrido de la luz en los escáneres con tecnología de Microscopía confocal combinada con triangulación y luz azul.....                                                           | 66 |
| Figura 45: Representación gráfica del funcionamiento de un escáner óptico de luz láser .....                                                                                                                    | 67 |
| Figura 46: Representación gráfica del funcionamiento de un escáner óptico de luz estructurada o blanca.....                                                                                                     | 68 |
| Figura 47: Procera Forte (Renishaw plc., Londres, UK).....                                                                                                                                                      | 69 |
| Figura 48: Representación gráfica del funcionamiento de una impresora con sistema de deposición de material fundido.....                                                                                        | 71 |
| Figura 49: Representación gráfica del funcionamiento de una impresora con sistema de sinterización láser (SLS) .....                                                                                            | 72 |
| Figura 50: Representación gráfica del funcionamiento de una impresora con sistema de fundición por haz de electrones (EBM) .....                                                                                | 72 |
| Figura 51: Representación gráfica del funcionamiento de una impresora con sistema de Inyección Aglutinante (BJ). ....                                                                                           | 73 |
| Figura 52 - Representación gráfica del funcionamiento de una impresora con sistema de Estereolitografía (STL) .....                                                                                             | 74 |
| Figura 53: Representación gráfica del funcionamiento de una impresora con sistema sustractivo (fresadora).....                                                                                                  | 75 |
| Figura 54: Cuadro comparativo de impresoras de 4 y 5 ejes de las empresas Roland® y Planmeca®                                                                                                                   | 77 |

## ***Lista de Anexos***

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| ANEXO 1: Clasificación de escáneres intraorales.....          | 62  |
| ANEXO 2: Clasificación de escáneres extraorales .....         | 67  |
| ANEXO 3: Clasificación de de fases de prototipado (CAM) ..... | 71  |
| ANEXO 4: Esquemas de las mediciones .....                     | 78  |
| ANEXO 5: Glosario .....                                       | 120 |

## INTRODUCCIÓN

Desde hace muchos años en Odontología se utiliza una amplia variedad de materiales y técnicas para la confección de réplicas de los maxilares mediante la toma de impresión y obtención de un modelo, ya sea con fines diagnósticos o para la obtención de modelos de trabajo. Estos últimos exigen mayor grado de exactitud y propiedades mecánicas ya que en ellos se realizará la confección de: restauraciones de inserción rígida en prótesis fija, prótesis parcial o total removible, guías quirúrgicas, tratamientos de ortodoncia o implantes dentales, entre otras utilidades.

De acuerdo a lo dicho anteriormente, la introducción de técnicas de impresión digitales utilizando dispositivos de escaneo intraoral, ha disminuido la necesidad de realizar impresiones mediante métodos convencionales. Asimismo, la posibilidad de obtener un modelo, casi inmediato, mediante la impresión 3D permite al profesional establecer un flujo de trabajo fluido y con menos posibilidades de cometer errores durante la reproducción. Aquellos procedimientos que requieran de mayor precisión estarán condicionados por las propiedades de los materiales y/o equipamiento utilizados.

Los dispositivos involucrados en los diferentes procedimientos odontológicos que se utilicen con el propósito de obtener estructuras que presenten un ajuste pasivo deben ser exactos y precisos, por lo que deben ser medidos y cuantificados. En este aspecto, la medición se define como el proceso de asignar valores a ciertos eventos de la realidad (1), siendo éste un componente esencial en la investigación científica, y en particular este estudio para realizar la validación de dispositivos (escáneres intra y extraorales). En este contexto es importante comprender los conceptos de *exactitud* y *precisión*:

- la *exactitud* se define como la capacidad de un instrumento de acercarse al valor de la magnitud real. Si realizamos varias mediciones, no se trata de los errores de cada una, sino de la distancia a la que se encuentra la medida real de la media de las mediciones, de ahí que se deduce que la exactitud es la cercanía del valor experimental obtenido al valor exacto de dicha medida (2).

- la *precisión* se define como el grado de concordancia entre resultados de mediciones independientes obtenidos bajo condiciones previamente estipuladas (3). En otras palabras, es la dispersión del conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud. Cuanto menor es la dispersión, mayor es la precisión.

En la figura 1 y tabla 1 se muestra gráficamente y se describe la comparación e interacción entre los conceptos de exactitud y precisión:

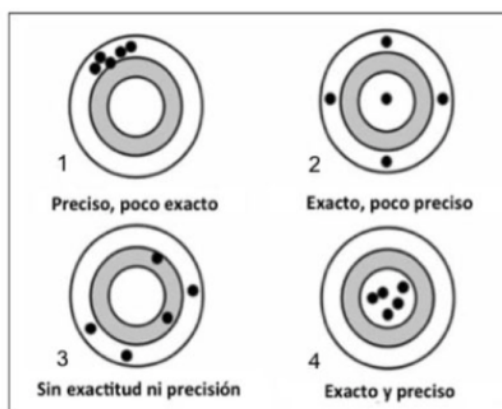


Figura 1: Diferencias entre exactitud y precisión  
(Tomado de Serrat Báron, Marta: Evaluación in-vitro de la precisión de los escáneres de uso en la odontología digital para la confección de estructuras para prótesis sobre implantes. Barcelona 2017)

| Preciso, poco exacto                                                              | Exacto, poco preciso                                                                                           | Sin exactitud ni precisión                                                                              | Exacto y preciso                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Resultados muy próximos entre sí pero valor medio alejado del valor verdadero (1) | Valor medio muy cercano al valor verdadero, pero gran dispersión de los resultados en torno al valor medio (2) | Gran dispersión de los resultados en torno al valor medio y valor medio alejado del valor verdadero (3) | Resultados muy próximos entre sí, con un valor medio muy cercano al valor verdadero (4) |

Tabla 1: Diferencias confección entre exactitud y precisión según los valores medios y verdaderos  
(Tomado de Serrat Báron, Marta: Evaluación in-vitro de la precisión de los escáneres de uso en la odontología digital para la confección de estructuras para prótesis sobre implantes. Barcelona 2017)

La evaluación de precisión ha sido objeto de varios estudios (4) y puede ser medida en base a dos de sus componentes, la repetibilidad y la reproducibilidad:

- Se define repetibilidad como el grado de concordancia entre los resultados obtenidos de mediciones sucesivas de la misma magnitud sometida a medición, realizadas bajo

las mismas condiciones de medición (5). En otras palabras, al repetir la medición en condiciones constantes estas deberían ser similares. Podemos decir que la calidad de la repetibilidad refleja la estabilidad y autenticidad de un dispositivo de exploración en si mismo independientemente del individuo quien lo utilice (operador) y del momento en que se utilice (tiempo).

- Se define reproducibilidad como el grado de concordancia entre los resultados de mediciones de la misma magnitud sometida a medición, realizadas bajo condiciones de medición distinta (5). En otras palabras, es la capacidad de un dispositivo de dar el mismo resultado que otro dispositivo, al que lo queremos comparar y que consideremos tiene una precisión aceptada y estandarizada.

A continuación, se hará una breve descripción de las técnicas tradicionales y técnicas digitales para establecer un marco teórico que permita al lector incorporar conceptos esenciales para la concepción y futura deducción de la precisión que brindan ambas técnicas.

### **Técnicas tradicionales**

La IMPRESIÓN se define como la reproducción en negativo de las preparaciones dentales, dientes adyacentes y tejidos blandos relacionados (6). Es un paso intermedio para la obtención del MODELO, y consta de tratar de reproducir lo más fidedignamente la zona de trabajo deseada. Para ello, se deben cumplir una serie de requisitos (7):

- el material de impresión debe: ser biocompatible, tener la consistencia adecuada de acuerdo a la técnica a utilizar, permitir obtener una mezcla homogénea, tener tiempo de trabajo suficiente, y tener exactitud y estabilidad dimensional
- la cubeta debe tener forma y tamaño de acuerdo a la zona a reproducir, no debe tener perforaciones y debe posicionarse centrada respecto del área de interés
- la impresión extenderse adecuadamente en la zona a reproducir, mantenerse bajo presión uniforme durante el endurecimiento

- el modelo debe ser exacto, fiel en la reproducción de los detalles de la zona de interés y dimensionalmente igual a la zona que reproduce (8).

Es importante conocer las instrucciones del fabricante y propiedades del material de impresión utilizado ya que una vez completada la operación es necesario que la impresión mantenga inalteradas su forma y dimensiones hasta que se obtenga el modelo correspondiente. En caso contrario, las deformaciones y los cambios dimensionales son transferidos al modelo alterando las características del original. Otro factor a considerar en la etapa de la toma de impresión, es el momento del retiro del conjunto cubeta/material de impresión de la cavidad bucal cuando utilizamos materiales llamados “elásticos”, ya que en realidad son materiales “viscoelásticos”. Esto implica que pueden experimentar deformación plástica o permanente a pesar de que el material esté siendo sometido a fuerzas inferiores al límite proporcional pero durante un tiempo prologando, ya se manera constante o intermitente. En el caso de elastómeros para impresión, como las siliconas por condensación o adición, se deberá considerar la deformación producto de la contracción de polimerización (7). Finalmente, y no menos importante, la impresión pudo haber endurecido bajo presión, quedando tensiones congeladas en la masa del material, que con el tiempo pueden relajarse y distorsionarla. Es deber del profesional seleccionar el material adecuado para cada caso particular.

*Macchi (8) clasifica a los materiales de impresión de la siguiente manera (Figura 2):*



Figura 2: Clasificación de materiales de impresión

### Materiales elásticos para impresión

Los materiales elásticos para impresión se caracterizan por permitir ciertas deformaciones para el momento del retiro de la cavidad bucal y su posterior recuperación, sin implicar cambios permanentes siempre y cuando se consideren ciertos recaudos en su manipulación, ya que en realidad su comportamiento no es completamente elástico, sino más bien “viscoelástico”. Al retirar la impresión se ejerce sobre el material una fuerza que genera una tensión en el material, si esta tensión no es muy elevada pero el momento del retiro demanda cierto tiempo, podrán producirse en ella deformaciones de tipo permanente afectando la exactitud en la reproducción de detalles. Para disminuir la posibilidad de que se generen este tipo de alteraciones, una vez producido el endurecimiento del material, debe retirarse en un solo movimiento, sin balanceos, es decir, de manera axial realizando presión suave y simultánea de ambos lados. Otro factor a considerar es conocer el tiempo de espera, establecido por el

fabricante, para la confección del modelo, ya que dicho plazo permitirá la recuperación elástica del material para lograr un modelo que cumpla con los requisitos necesarios. Es necesario la descontaminación ya sea de la impresión, por tal motivo se deberán conocer las sugerencias del fabricante en cuanto a sustancias a utilizar y tiempo de acción de las mismas. En caso de utilizar materiales que puedan sufrir cambios por estar en contacto con un medio acuoso, será indispensable descontaminar el modelo antes de continuar con su manipulación.

Entre los materiales elásticos más utilizados se encuentran:

### ❖ **Hidrocoloides**

Este tipo de materiales están compuestos por una fase dispersa y una fase dispersante. Debido a que la fase dispersante es agua, podrán producirse fenómenos de sinéresis, si parte de ella se elimina de la estructura; y de imbibición, si el material absorbe agua del exterior. Es muy importante considerar estos fenómenos ya que implicarían cambios dimensionales de la impresión realizada con ellos.

El hidrocoloide más utilizado en Odontología, por su simplicidad de uso, es el **alginato**. El componente principal es una sal de ácido algínico, sal formada por un catión monovalente -sodio, potasio o amonio- que al mezclarse con agua forma una masa plástica (sol coloidal). La transformación de sol a gel se logra mediante la reacción de gelación, en la que el catión monovalente es reemplazado por un catión bivalente. Para que se logre la reacción, además de la sal de ácido algínico, el alginato está compuesto por sulfato de calcio, fosfato trisódico, tierra de diatomeas, y otros componentes opcionales, como pueden ser silicatos, fluoruros o silicofluoruros, sustancias saporíferas que dan olor o sabor, indicadores de pH en los alginatos cromáticos, y glicoles para disminuir la volatilidad del polvo (son los denominados “dustless” o “dustfree”). Respetando las instrucciones de uso del fabricante, su posibilidad de reproducir detalles es suficiente para muchas situaciones clínicas, como por ejemplo, modelos de diagnóstico, modelos para confección de cubeta individual, entre otros. Sin embargo, cuando la situación clínica requiera impresiones con alta fidelidad será necesario recurrir a otros materiales, como pueden ser los elastómeros (8).

## ❖ Elastómeros

Son materiales orgánicos, polímeros, con capacidad para deformarse frente a tensiones y recuperarse fácilmente cuando estas cesan ya que en su estructura contienen moléculas parcialmente entrecruzadas que les permite volver a su forma original.

Dentro de los elastómeros para impresión se encuentran los polisulfuros, las siliconas y los poliéteres. Siendo las más utilizados, las siliconas. Sus moléculas contienen átomos de silicio unidos por medio de átomos de oxígeno. El tamaño de las moléculas al igual que la composición de los grupos radicales determinan las propiedades del material final. El mecanismo de endurecimiento de las siliconas es la polimerización, ya sea por condensación o por adición:

- ✓ En las siliconas por condensación la molécula base es una silicona con grupos laterales alquílicos (metilo) y terminales oxidrilo. Para producir la polimerización se le incorpora un catalizador que contiene un silicato tetraalquílico (silicato de etilo) y un acelerador (octanoato de estaño). La mezcla hace que los grupos alquílicos se condensen con los grupos oxidrilo terminales, formando como subproducto el alcohol, responsable de los cambios dimensionales que ocurren a través del tiempo en impresiones realizadas con este material. La valencia que queda libre en los extremos de la cadena de cada molécula de silicona se une a la valencia que le ha quedado libre al silicato. Como éste reacciona con cuatro cadenas simultáneamente a través de sus cuatro grupos alquílicos se logra como resultado entrecruzar las moléculas de silicona con lo que se obtiene el elastómero buscado (Figura 3) (8).

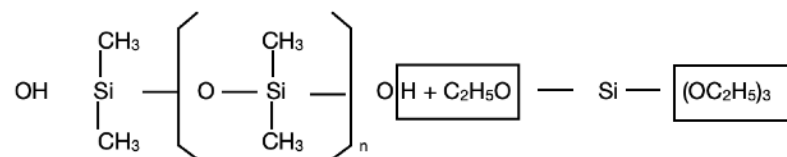


Figura 3: Esquema de reacción en una silicona de polimerización por condensación

- ✓ Las siliconas por adición carecen de cambios dimensionales como producto de la polimerización, ya que no liberan subproductos. En ellas sus moléculas, junto con las partículas cerámicas de relleno, constituyen la pasta base que contiene grupos terminales vinílicos (doble ligaduras) en lugar de grupos oxidrilo. La pasta base se

mezcla con una pasta reactiva que además de presentar partículas de relleno, contiene una silicona con átomos de hidrógeno. Gracias a la presencia de un acelerador (ácido cloroplatínico) se logra el traslado de átomos de hidrógeno a las doble ligaduras, las que se abren por dicha acción. Las valencias libres de los grupos vinílicos se saturan con las que dejaron libre los hidrógenos y así las moléculas originales quedan unidas y entrecruzadas (Figura 4). En las siliconas que polimerizan por adición se debe esperar por lo menos una hora antes de realizar el modelo de yeso, para permitir la liberación de los átomos de hidrógenos y así evitar porosidades producida por los gases de dichos átomos. Este tipo de silicona no produce ningún cambio dimensional (8). El profesional deberá estar atento de no interferir en la reacción de polimerización por adición con contaminantes (ej. talco de guante de látex) para evitar cualquier inconveniente en las propiedades esperadas del material.

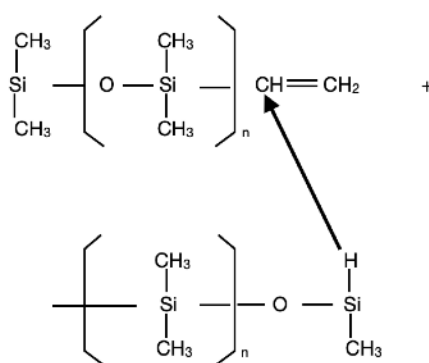


Figura 4: Esquema de reacción en una silicona de polimerización por adición

La cantidad de relleno incorporado en la composición puede variar, lo que permite obtener productos de consistencias diferentes. Cuando el relleno es elevado (>75% se lo denomina pesado (masilla o putty) y su capacidad de reproducir detalle es reducida. Por el contrario, si la cantidad de relleno es menor a 25%, el material será fluido o liviano y su capacidad de reproducir detalles será elevada (8).

## **Confección del modelo**

Una vez concluida la maniobra de la toma de impresión (replica en negativo), y de acuerdo a los tiempos de espera necesarios para la recuperación elástica del material, se procede a realizar el modelo correspondiente, es decir obtener la replica en positivo de las estructuras.

El material utilizado para la obtención del modelo debe poder brindar una masa plastica capaz de fluir sobre la impresión para luego endurecer manteniendo no sólo esos detalles sino también haciéndolo con las mismas formas y medidas en todas las dimensiones. De esta manera, la fidelidad de reproducción y exactitud dimensional logradas en impresión serán transferidas al modelo.

El material más frecuentemente utilizado en las técnicas tradicionales en Odontología para la realización de modelos es el yeso, más precisamente llamado hemihidrato o sulfato de calcio hemihidratado. Este material proviene del Dihidrato presente en la naturaleza, que mediante procesos industriales se realiza la extracción de parte del agua que los constituye mediante diferentes técnicas, consiguiendo obtener los diferentes tipos de hemidratos disponibles comercialmente. Existen hemihidratos obtenidos por calcinación en seco (yeso taller, yeso Paris o yeso tipo II), autoclave (yeso piedra o tipo III) o sintéticos (yeso piedra mejorado, dentista o yeso tipo IV) (8).

El hemidrato se mezcla con agua para obtener la masa plástica que se colocará sobre la impresión. El endurecimiento del yeso, también llamado fraguado se produce en tres etapas: 1) disolución del hemihidrato, 2) formación de dihidrato y 3) precipitación y crecimiento de cristales de dihidrato.

A pesar de ser el material más utilizado para la confección de modelos, deben tenerse cierto recaudos durante su manipulación para minimizar los efectos de las desventajas que presenta. Respetar la relación agua/polvo proporcionada por el fabricante, utilizando elementos de medición (balanzas y jeringas) permitirá no solo llegar a la consistencia adecuada, sino obtener las mejores propiedades mecánicas esperadas para ese material, ya que a mayor cantidad de agua utilizada en la mezcla, menor será la resistencia del producto final. Al evaporarse el exceso de agua dejara mayor cantidad de espacio vacío, generando porosidades en el modelo. Asimismo,

durante la mezcla se debe evitar incorporar aire a la mezcla, ya que podrían generarse porosidades en el modelo. El vibrado durante la realización del modelo permite el corrimiento del material pero debe realizarse mediante vibraciones suaves para eliminar burbujas de aire de la masa de material, ya que el exceso de vibración tendrá efecto contrario, incorporando burbujas de aire.. Finalmente, mientras se espera el fraguado del yeso, en aquellas impresiones realizadas con alginato, el conjunto impresión-modelo se deberá mantener en un ambiente de 100% de humedad relativa hasta la finalización del fraguado.

Se debe mantener una estricta forma de manipulación del material y un correcto flujo de trabajo para que el resultado final sea optimo. Cualquier modificación tendrá como resultado un modelo sin las propiedades de reproducción optima deseadas para la labor odontológica. El éxito de una rehabilitación odontológica se verá influenciado no solo por la selección del material restaurador sino también por cada uno de los pasos para llegar a la finalización del caso clínico.

### **CAD/CAM**

Las siglas CAD/CAM corresponden a “Computer-Aided Design & Computer-Aided Manufacturing”, que traducido al castellano significa diseño asistido por computadora / fabricación asistida por computadora. Aplicado al mundo odontológico, hace referencia a una tecnología que nos permite realizar restauraciones dentales mediante el uso digital del diseño, y un sistema de mecanizado o fresado automatizado que trabaje a sus órdenes.

Se introdujo en 1971, siendo al principio más experimental y teórico, que clínico, y siempre enfocado en el ámbito de la prótesis fija. En 1979, Heitlinger y Rodder, y luego Mörmann y Brandestini, en 1980, empezaron a trabajar en este campo y durante esa década surgieron en el mercado diferentes sistemas, entre ellos los de Duret®, el sistema Minnesota® y el sistema CEREC®. En la década de 1990, la empresa Planmeca® diseña el sistema de procesamiento de imágenes digitales. En 1993 surge en Suecia el sistema Procera® (Nobel Biocare®), uno de los sistemas mas populares utilizados hasta la actualidad junto al CEREC® y Planmeca® (9). En los últimos años, el uso de estos sistemas se ha extendido desde el campo de la prótesis a otras disciplinas, como la ortodoncia y la cirugía dental.

Las funciones realizadas por un sistema CAD/CAM deben estar plasmadas en tres elementos básicos que pongan en relación cada una de las mismas (10):

- La conversión analógico-numérica de la imagen.
- El diseño asistido por computadora con modelizaciones lineales y superficiales.
- La fabricación por control físico-numérico (fresado o impresión)

## **Fase de diseño por ordenador (CAD)**

Se realiza mediante un software, específico para cada sistema, el cual diseña el esqueleto (“mesh” o malla) de la estructura protética o bien la restauración final. El diseño puede ser realizado desde cero o sobre una imagen ya obtenida a través de un escáner que puede ser intraoral o extraoral.

La información de un diseño CAD se resguarda en un archivo informático que puede tener diversos formatos (11), siendo .obj y .stl los más comunes.

- **Nube de puntos (.obj)**

Se trata de un archivo que contiene las coordenadas cartesianas (x, y, z) de puntos que representan la superficie externa de un objeto. Las nubes de puntos son creadas generalmente por los escáneres 3D, que miden de forma automática una gran cantidad de puntos en la superficie de un objeto y se registran en forma de nube de puntos. No requiere procesamiento posterior, es una copia virtual de lo escaneado. Son archivos de difícil inspección y manejo, por lo que comúnmente se convierten en modelos de malla poligonal (“mesh”) (figura 5).



Figura 5: Detalle de una malla (“mesh”), en archivo .obj

- **Malla poligonal (.stl)**

Es la unión de puntos de la nube de puntos formando superficies triangulares u otros polígonos complejos. Su formato de archivo informático es “.stl”, el cual recibe su nombre de la estereolitografía (en inglés “*STereoLithography*”). Existe otro acrónimo más utilizado hoy en día para el archivo “.stl” que es “**Standard Triangle Language**” (Lenguaje Triangular Estándar). El formato STL describe solamente la superficie del modelo, sin ninguna representación de color ni textura (Figura 6).

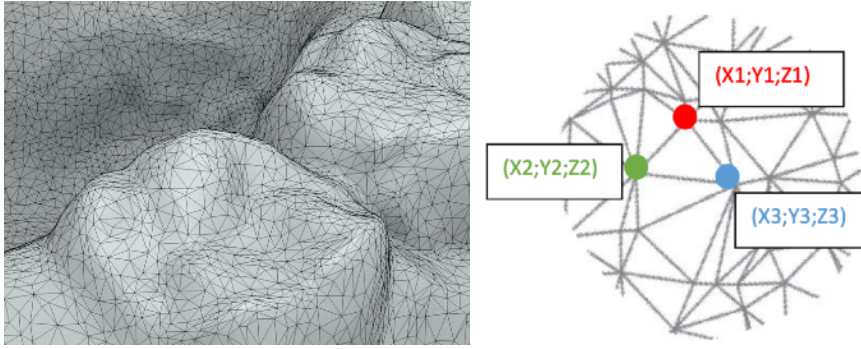


Figura 6: Detalle de una malla (“mesh”) en un archivo .stl (izq.). Detalle de coordenadas cartesianas de un triángulo de la malla 3D.

Se ha demostrado que la precisión de los sistemas CAD dependen de la densidad de la nube de puntos, en la que a mayor cantidad de polígonos, mayor precisión (5). Cuantos más triángulos formen la superficie, más grande será la resolución y tamaño del archivo final. A mayor resolución menor será la rugosidad o suavidad relativa de un área curvada, lo cual supondría a nivel práctico una restauración con mejor ajuste. Este mayor tamaño del archivo implicará mayor dificultad en su manejo durante el envío al laboratorio para el fresado o impresión 3D.

Existen errores, que son propios del proceso de escaneado, que pueden darse y que supondría transmitir información errónea al resultado final. Dichos errores no son visibles al realizar el escaneado, ni existen estudios que revelen la causa, solo son detectables una vez que se exporta el archivo “.stl” y se estudia su malla poligonal. Estos errores podrán ser reparados con programas específicos como ser Meshlab® (Isti-CNR, Pisa, Italia) y Blender 2.78 (Blender®, Amsterdam, Holanda), o incluso con software propio de cada sistema de escaneo, como los utilizados en este estudio: CEREC SW 4.5 (Dentsply Sirona Inc®, NYC-USA), Planmeca® Romerexis (Planmeca®, Helsinki, Finlandia) y EGS DentalCad (EGS s.r.l, San Lazzaro di Savena, Italia). En caso de no poder realizar la reparación con estos programas, será necesario volver a escanear.

Algunos errores (5) que se pueden presentar en los escaneos son:

- **Bordes dañados (“bad edges”):** consecuencia del contacto entre triángulos vecinos en donde dos o más caras están conectadas al mismo borde. Es el error más común.

- **Normales o normales invertidas:** cuando las normales de superficies (polígono) de un modelo 3D están incorrectamente orientadas y apuntan a lados contrarios, cuando éstas deben apuntar hacia un lado uniforme. El signo visible de una normal invertida se confunde fácilmente con un hueco o agujero en el objeto.
- **Agujeros (“holes”):** situación producida cuando no se hace bien la traducción del objeto a escanear. Son zonas mal escaneadas de donde no se han obtenido datos de ningún tipo.
- **Espacio (“Gaps”):** cuando los triángulos de la malla .stl no conectan bien debido a una triangulación inapropiada de las superficies, por lo que hay que proceder a cerrarlos.
- **Contornos abiertos:** situación producida cuando los vértices de los triángulos no están completamente cerrados.
- **Superposición de triángulos:** como su nombre lo indica son superposiciones de triángulos que distorsionan y deforman el resultado final.

### **Definición de escáneres de uso odontológico**

El escáner de uso odontológico, según la norma ISO 12836, se define como un dispositivo de digitalización en odontología o dispositivo de obtención de datos de las superficies dentales para el diseño y la fabricación, ayudados por computadora, de las restauraciones dentales indirectas confeccionadas a medida, que se utiliza para registrar las características topográficas de los dientes y de los tejidos circundantes, de los componentes para la conexión de implantes, las impresiones dentales, los modelos dentales, mediante métodos análogos o digitales (12). Para que un escáner tenga aceptada precisión, se requiere que sus resultados tengan una desviación estándar de  $\pm 50\mu$  (13).

## Escáneres intraorales

Los escáneres intraorales se basan en diferentes tecnologías, pero tienen un mismo objetivo, digitalizar las preparaciones dentarias, creando un modelo tridimensional virtual. Para ello utilizan cámaras que captan imágenes y que luego se procesan mediante un software, para obtener el modelo final. Es un dispositivo portátil capaz de efectuar los escaneados tridimensionales de las superficies de los arcos dentales óptica y directamente creando un modelo digital, información que se introducirá directamente en la cadena de producción CAD/CAM a través de una computadora (14).

Todos los escáneres intraorales, independientemente de sus particularidades, están constituidos por una pieza de mano (cabezal), una fuente de alimentación, un software de reconstrucción y una computadora. Su clasificación se puede observar en la Figura 7 (5).

|             |                           |                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Intraorales | Según concepto de trabajo | <ul style="list-style-type: none"><li>• out office</li><li>• In office</li></ul>                                                                                                                                                                |
|             | Según tecnología          | <ul style="list-style-type: none"><li>• Muestreo activo de fuente de onda</li><li>• Sistema paralelo confocal</li><li>• Tomografía de coherencia óptica o sensor confocal</li><li>• Microscopia con focal combinada con triangulación</li></ul> |

Figura 7: Clasificación de escáneres intraorales de uso odontológico

*En el anexo 1 se detalla en profundidad cada uno de ellos.*

## Protocolo de escaneo intraoral

La operación para la utilización de un escáner intraoral es relativamente simple, el usuario debe sostener el cabezal a una distancia determinada por cada fabricante mientras el escáner se mueve gradualmente desde diferentes angulaciones recorriendo la superficie que se pretende escanear. La secuencia de escaneo vendrá también especificada según el tipo de escáner y fabricante, pero de acuerdo a su finalidad se debe escanear maxilar superior e inferior, y por ultimo la relación oclusal entre ambos. Es importante y recomendable seguir un orden en el escaneo para el mejor funcionamiento del mismo y con la finalidad de que la relación de información capturada (nube de puntos – “*mesh*”) se genere sin errores (5, 15). En las figuras 12, 13 y 14 se detalla el protocolo de escaneo para la arcada superior, inferior y registro de oclusión.

### PROTOCOLO DE ESCANEADO



#### Arcada Superior

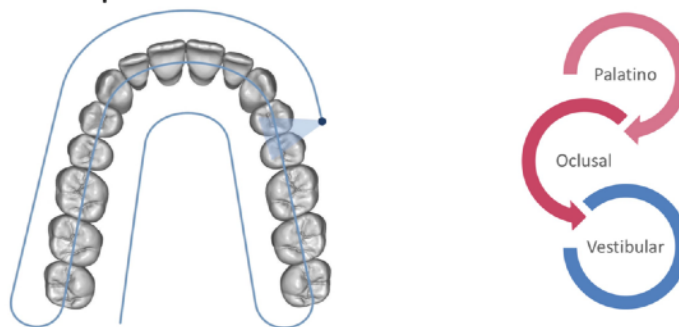


Figura 8: Recomendaciones según protocolo de escaneo para el registro de la arcada superior

### PROTOCOLO DE ESCANEADO



#### Arcada Inferior

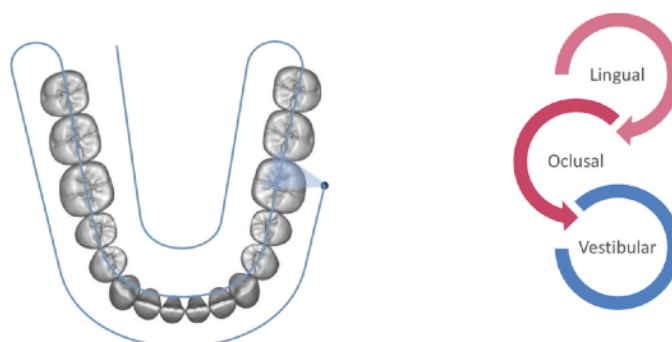


Figura 9: Recomendaciones según protocolo de escaneo para el registro de la arcada inferior

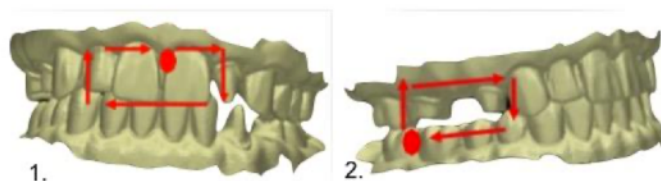


Figura 10: Recomendaciones según protocolo de escaneo para el registro de oclusión (1. Sector anterior, 2. Sector posterior)

Dependiendo de la tecnología incorporada en cada escáner, este podrá obtener la información directamente del medio bucal con o sin intermediario para realizar dicha tarea. En tecnologías más antiguas, como por ejemplo el escáner (CEREC® BlueCam) necesita un medio por el cual no sufra aberraciones ni distorsiones de alguna manera, ni errores a la hora de capturar la información a reproducir. Por este motivo se rocía sobre el área a reproducir un spray con partículas de carbonato de calcio y dióxido de titanio (DENU Easy Scan), generando un espacio opaco que evita dichas distorsiones. En escáneres más modernos (Planmeca® Emerald) esta acción no es necesaria ya que son capaces de tomar la información sin sufrir modificaciones provocadas por la saliva o reflejo de la luz dentro de la cavidad oral.

Algunos de los sistemas de impresión digital intraoral disponibles en la actualidad son: el sistema CEREC Omnicam (Dentsply Sirona®), Apollo® Di (Dentsply Sirona®), E4D Dentist™ (D4D Technologies), iTero® Element (iTero®), 3M™ True Definition (3M), CS3500 (Carestream®), Lythos™ (Ormco®), TRIOS (3Shape®) y Planmeca Emerald™ (Planmeca®).

## Escáneres extraorales

Como su nombre lo indica este tipo de escáner no puede ser utilizado en el medio bucal. Para poder usar estos dispositivos es necesario un modelo que represente aquello que queremos reproducir. Los escáneres extraorales se dividen en ópticos y mecánicos o táctil (16):

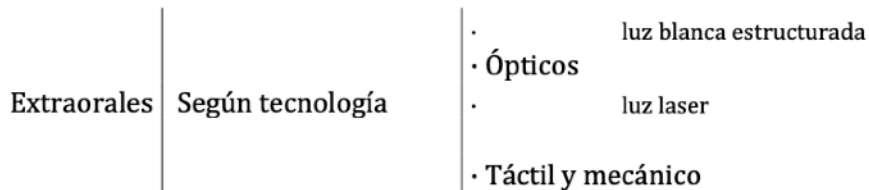


Figura 11: Clasificación de escáneres extraorales de uso odontológico

En el anexo 2 se detalla en profundidad cada uno de ellos.

## **Fase de prototipado (CAM)**

La fase CAM, es un proceso de prototipado rápido de un diseño previo, realizado por computadora. En la actualidad podemos clasificar las técnicas CAM en dos grandes grupos: técnicas aditivas y técnicas sustractivas (17):

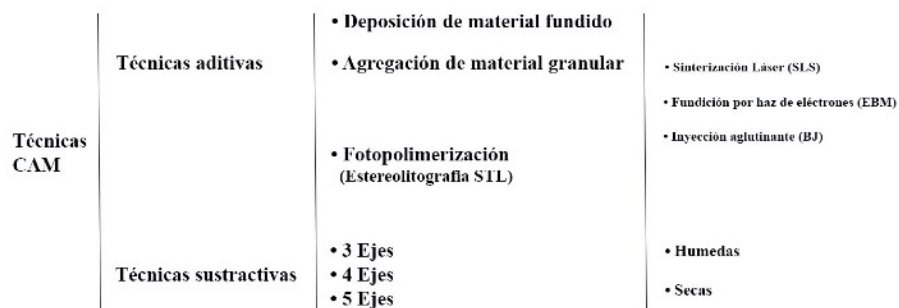


Figura 12: Clasificación de técnicas CAM

A continuación se detalla la técnica utilizada en este estudio y el resto se detallan en el anexo 3.

**Fotopolimerización:** A este tipo de impresión 3D se la denomina estereolitografía. La Estereolitografía es un sistema de prototipado rápido con el que, mediante el procesamiento de los datos obtenidos mediante escáneres intra y extraorales, tomografías axiales computadas (TAC) o resonancias magnéticas nucleares (RMN) de los pacientes, se pueden obtener modelos en tres dimensiones para su futura manipulación. Para obtener el modelo físico de estos datos, se solidifican resinas de estado líquido mediante la proyección de un haz de láser de una frecuencia y potencia muy concretas o exposiciones a radiación ultravioleta. El proceso de obtención de modelo empieza con el elevador situado a una distancia de la superficie del líquido, igual al grosor de la primera sección a imprimir. El láser sigue la superficie de la sección y su contorno. Una vez solidificada esta sección, el elevador baja su posición para situarse a la altura de la siguiente lámina. Se repite dicha operación hasta conseguir la pieza final (Figura 22). En el campo de la odontología se utiliza con éxito en las deformaciones dentofaciales, estudios de crecimiento del macizo maxilofacial, implantología, reconstrucciones óseas, dentales y de la Articulación Temporo Mandibular (ATM), malformaciones de cabeza, cara y cuello, cirugías estéticas y maxilofaciales con etiologías patológicas y/o traumáticas. Cabe destacar que las características fisicoquímicas de estos fotopolímeros dependerán del material seleccionado por el fabricante para su elaboración.

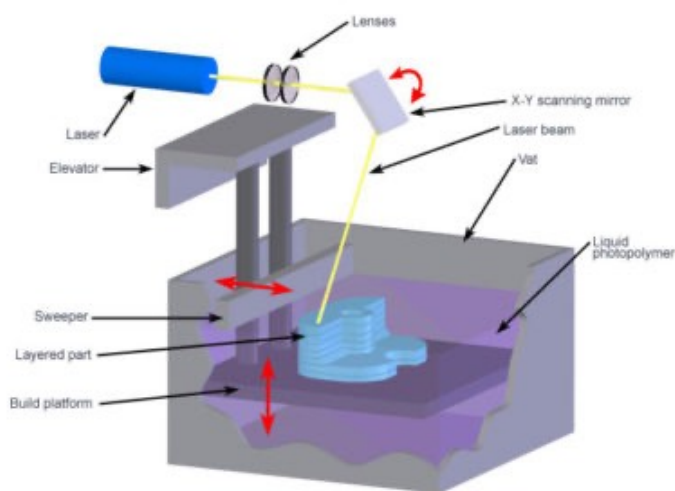


Figura 13: Representación gráfica del funcionamiento de una impresora con sistema de Estereolitografía (STL)

Los sistemas CAD/CAM ofrecen múltiples ventajas (18):

- Permiten elaborar restauraciones dentales con materiales de primera calidad, que no son alterados durante la manipulación.
- El proceso automatizado supone un ahorro de tiempo.
- Se produce un ahorro de costes.
- Permite técnicas mínimamente invasivas, pudiendo, en algunos casos, evitar la toma de impresiones con elastómeros.
- La supresión de algunas fases de las técnicas de laboratorio convencionales, aumentan la precisión de las restauraciones al evitar errores derivados de los materiales.
- Las restauraciones requieren menos correcciones en boca.

No obstante, entre los inconvenientes de esta tecnología estarían:

- Altos costos iniciales, debido a la gran inversión requerida para su adquisición.
- Adecuado entrenamiento y aprendizaje por parte del profesional y/o del técnico para manejar el sistema, y estar familiarizado con los aspectos clínicos y de laboratorio (la impresión óptica o el escaneado de los modelos, el software, el material, herramientas y maquinaria).

El desarrollo de técnicas controladas por computadoras para la Odontología Restauradora, tiene el objetivo de mejorar la calidad de los materiales y al mismo tiempo disminuir los costos de producción, al simplificar el método y reducir el tiempo empleado. No obstante, el uso de la tecnología informática/digital solo es justificable con la condición de que se puedan mejorar o, como mínimo, alcanzar las características reconocidas de calidad clínica y de materiales de las reconstrucciones odontológicas tradicionales (19).

Los métodos para escanear las arcadas dentarias utilizando sistemas intraorales proporcionan impresiones comparables a los materiales tradicionales en términos de precisión clínica, eliminando la variabilidad dependiente del operador, reduciendo el tiempo y los costos de tratamiento para la rehabilitación. También hay varios beneficios para los pacientes: el escaneo requiere menos tiempo que la toma de impresiones

convencionales, las imágenes pueden ser analizadas inmediatamente por el operador y pueden repetirse fácilmente, si es necesario, total o parcialmente (20).

La hipótesis de este trabajo es que la utilización del escáner intraoral para la futura confección de un modelo obtenido a través de la impresión 3D (esterolitografía) demuestra un mejor y más fiable resultado a nivel dimensional, analizando sus posibles deformaciones en comparación a los materiales dentales clásicos para la toma de impresión y su respectivo modelo definitivo de yeso densita.

Por tal motivo, el objetivo de este trabajo “in-vitro” es establecer una comparación dimensional entre los modelos obtenidos mediante impresión 3D a partir de escáneres intraorales, y los modelos de yeso obtenidos a partir de impresiones realizadas con materiales de impresión viscoelásticos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente estudio se confeccionó un modelo en resina epóxica de una arcada superior a la cual se le incorporo un análogo de pilar facetado de Ø 6.5 de 4 mm de alto (246.5ANAPIL40F, Federa), también llamado “Scanbody”, en reemplazo del primer premolar izquierdo con propósitos comparativos. Un Scanbody es un cuerpo de exploración específico y apropiado que se utiliza para la captura digital de la información de la localización, posición respecto a las otras estructuras, anulación, diámetro y conexión del implante utilizado. Es el equivalente al aditamento de transferencia o transfer en a toma de impresiones convencionales.



Figura 14: Representación del diseño del modelo de resina epoxi y la sucesiva incorporación del scanbody Federa

Este modelo de resina fue escaneado con el escáner intraoral Planmeca® Emerald obteniendo así un archivo STL el cual fue editado dentro del software Rhinoceros® Rhino 6. Durante la edición se seccionó la arcada en una hemiarcada superior del sector 2, desde la pieza 21 hasta la 26 inclusive. De esta manera se obtuvo el archivo CAD MAESTRO (**modelo digital 1° maestro CAD**) el cual se utilizó para imprimir en 3D con la impresora 3D Objet 260VS (Stratasys®) un modelo de resina sintética y así obtener el modelo principal (**modelo 1° maestro**). Este modelo se utilizó para el escaneo con los tres escáneres seleccionados para este estudio: los escáneres intraorales Planmeca® Emerald y Cerec® BlueCam (Sirona), y el escáner extraoral EGS® DScan 3 (EGSolutions); todo esto dentro del ámbito digital. Por otra parte se utilizó este modelo principal (**modelo 1° maestro**) para obtener las impresiones utilizando los materiales de impresión utilizados comúnmente en odontología.

Todas las impresiones tradicionales fueron realizadas por el mismo operador, bajo una temperatura ambiente de 21°C.

El escaneado del modelo principal y el escaneado de los modelos de yeso fueron realizados por el mismo operador, adecuadamente capacitado en el uso de dicha tecnología.

### **CAD maestro**

Se procedió al escaneado del modelo de resina epoxi utilizando el escáner intraoral Planmeca® Emerald, y se obtuvo el archivo digital del mismo (.stl). Mediante el software de diseño 3D (Rhino6) se procedió a la edición de este archivo para seleccionar el área a reproducir por la impresora 3D y futuro escaneo de modelo principal.

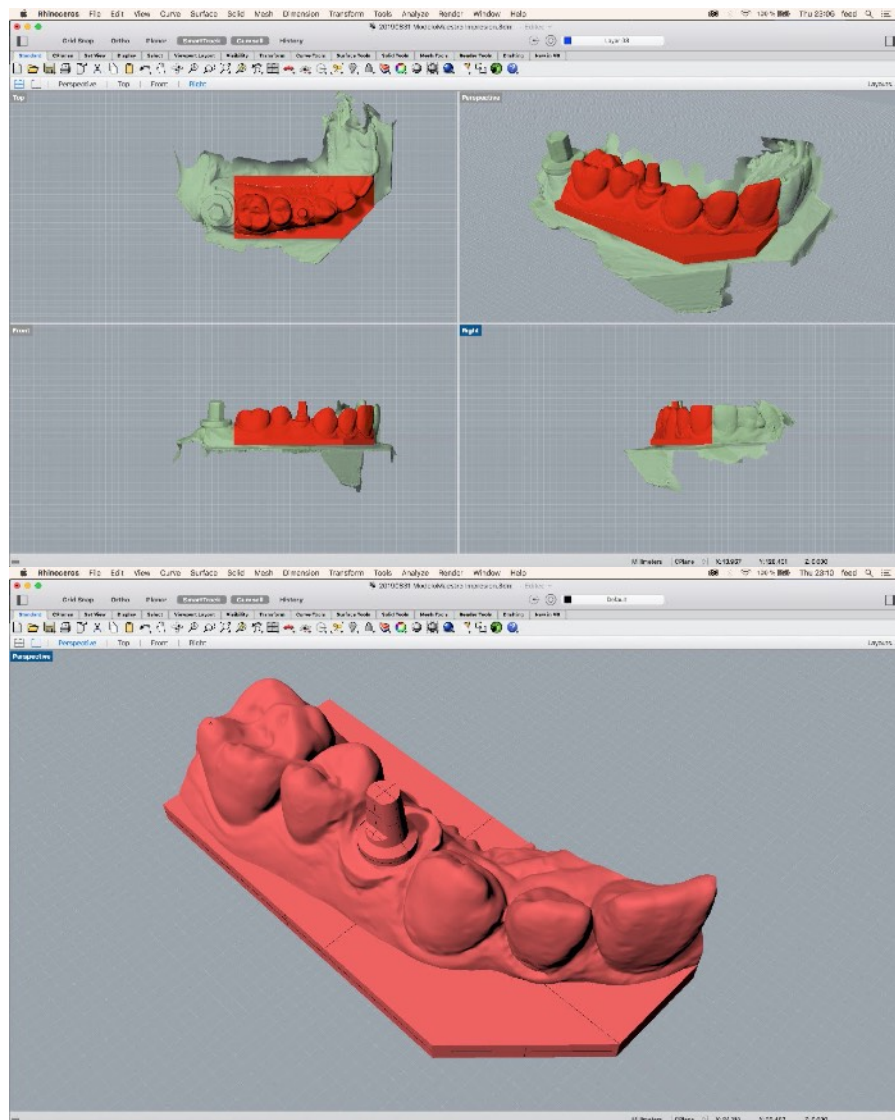


Figura 15: Visualización de la selección del área de trabajo y posterior diseño del modelo CAD MAESTRO.

## Impresión 3D

Del escaneado descrito en el punto anterior (archivo .stl), se confeccionó el modelo principal mediante impresora Stratasys Objet260 (Stratasys Ltd.), numero de serie 240026 fabricada en el año 2015. Dicha impresora utiliza el material VeroDentPlus™ MED690 (Stratasys Ltd.) numero de lote MTL14643.



Figura 16: Impresora Stratasys Objet 260; número de serie 240026; fabricada en 2015

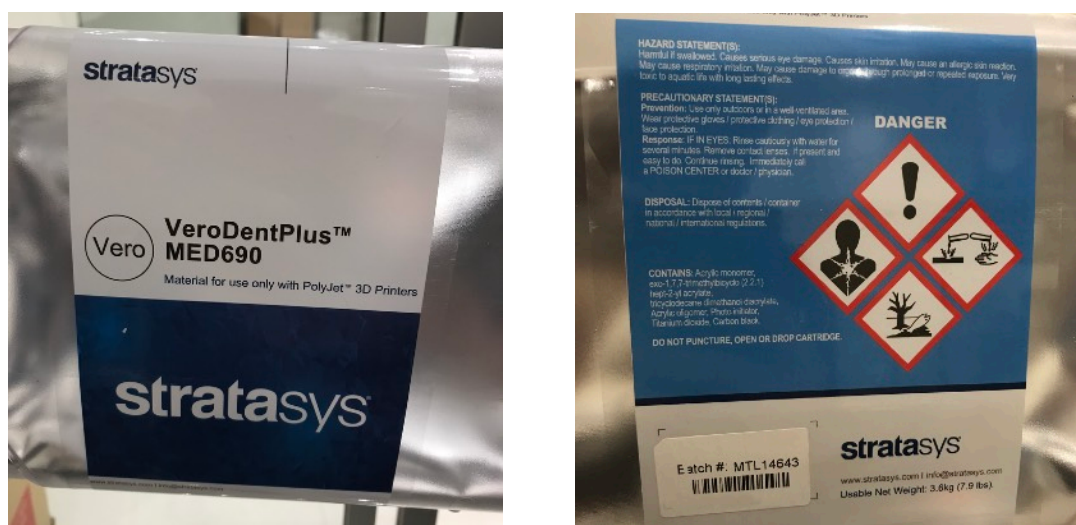


Figura 17: VeroDentPlus™ MED690 (Stratasys Ltd.) número de lote MTL14643.

### **Modelo Principal**

Luego de la impresión por estereolitografía se obtuvo el modelo principal confeccionado con el material de impresión VeroDentPlus™ MED690 (Stratasys Ltd.). Este modelo servirá como referente a la hora de realizar los escaneados digitales y las impresiones con alginato, silicona por condensación y silicona por adición.

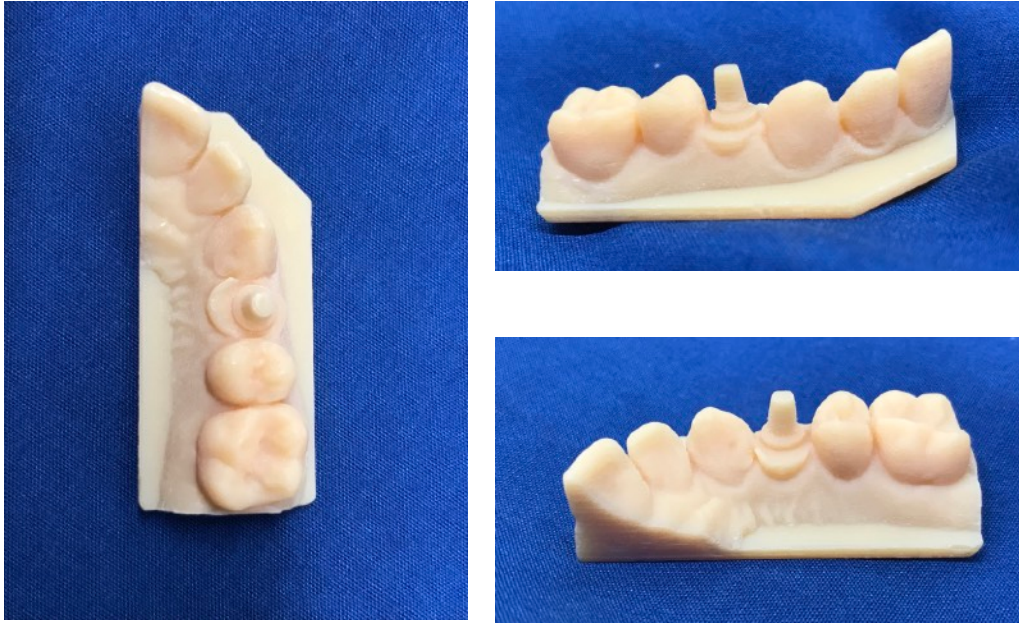


Figura 18: Modelo Principal en vista oclusal, vestibular y palatino respectivamente.

### **Escaner Planmeca® Emerald**

El modelo principal fue escaneado 5 veces con el escáner intraoral Planmeca® Emerald, que presenta las siguientes dimensiones (escáner con punta) 41 x 45 x 249 mm (1.6 x 1.8 x 9.9 pulg.) y peso (escáner con punta) 235 g (8.3 oz).



Figura 19: Escaner Planmeca® Emerald, número de serie 410755 fabricado en Nov. 2017

El escaneo se realizo en conjunto con el software Planmeca® Romexis versión 4.6. Se tomó al escaneo con menor diferencia dimensional con respecto al CAD ORIGINAL y se lo nombro escaneo planmeca principal. Luego se comparó al escaneo principal Planmeca con el CAD ORIGINAL para deducir la precisión del escáner.

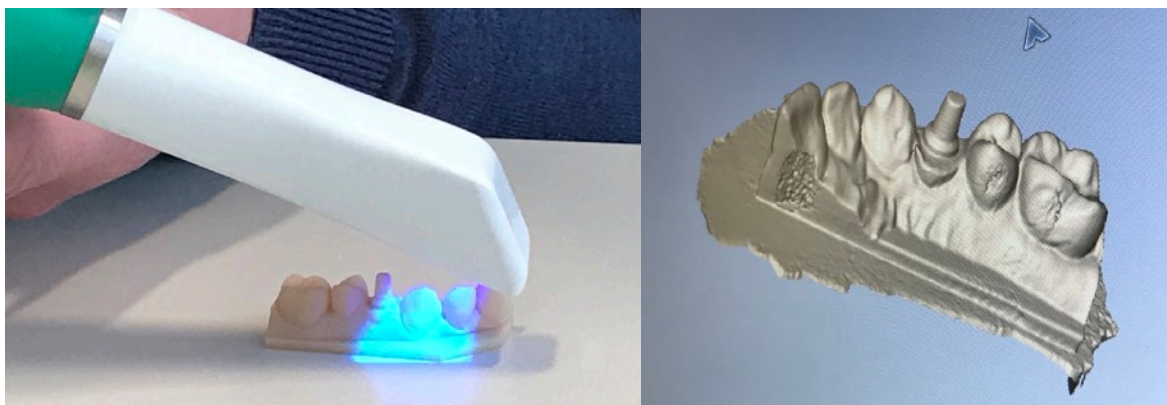


Figura 20: Representación del escaneo utilizando el escáner Planmeca® Emerald y su visualización gráfica en el software Planmeca® Romexis versión 4.6

El resto de los escaneos se los comparó con el escaneo Planmeca principal para obtener así el resultado de la repetitividad del escáner. Luego todos estos escaneos se imprimieron con la impresora Stratasys Objet260 obteniendo así cinco nuevos modelos de estereolitografía. Se los escaneó para obtener así cinco nuevos archivos .stl (ahora llamados P.EM1, P.EM2, P.EM3, P.EM4 y P.EM5) y poder así observar la precisión de la impresora utilizada en el estudio.

|                       |                                     |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Tecnología de escaneo | Triangulación del patrón proyectado |
| Resolución            | 1700x1258 px                        |
| Fuente de Luz         | Laser rojo, verde y azul (RGB)      |

Tabla 2: Características técnicas del escáner Planmeca® Emerald

## **Escaner Cerec® Bluecam**

Al modelo principal se lo escaneó cinco veces con el escáner intraoral CEREC® BlueCam y siguiendo el parámetro anterior, se tomó el archivo con menor diferencia dimensional y se lo nombró escaneo principal BlueCam. A éste se lo comparó con el CAD MAESTRO para evaluar la precisión del escáner. El resto de los escaneos se compararon con el escaneo principal BlueCam para evaluar la repetitividad del escáner. El escáner trabaja en conjunto con el software CEREC® InLab 4.2 para poder visualizar y si se quiere editar y diseñar sobre el archivo .stl obtenido.

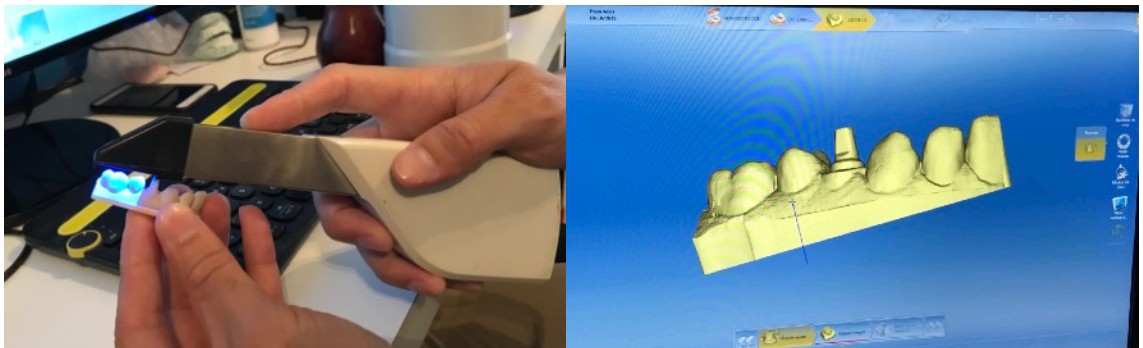


Figura 21: Representación del escaneo utilizando el escáner CEREC® BlueCam y su visualización gráfica en el software CEREC® InLab 4.2



Figura 22: Numero de serie del escaner CEREC® BlueCam

Este escáner a diferencia del Planmeca® Emerald requiere que la superficie a escanear este recubierta/espolvoreada por un polvo de oxido de titanio (DENU Easy Scan). Este proceso hace al modelo (en el medio bucal a los dientes y tejidos blandos involucrados en el área a escanear) incapaz de producir reflejos que puedan distorsionar la imagen final.



Figura 23: Polvo de oxido de titanio (DENU Easy Scan) aplicado sobre el Modelo Principal

| Tecnología de escaneo | Triangulación activa |
|-----------------------|----------------------|
| Resolución            | 680x480 px           |
| Fuente de Luz         | Laser azul (470nm)   |

Tabla 3: Características técnicas del escáner Planmeca® Emerald

### **Escaner EGSolutions DScan 3**

Al modelo principal se lo escaneó una vez con el escáner extraoral EGSolutions DScan 3 y se nombró al archivo escaneo principal DScan, el cual se lo utilizó para compararlo con el CAD ORIGINAL y así poder evaluar la precisión del escáner.

El mismo escáner se utilizó para escanear todos los modelos de yeso densita obtenidos a través de las impresiones de alginato y las siliconas por condensación y adición, para luego compararlos con el escaneo principal DScan y así evaluar las diferencias de los modelos tradicionales contra el modelo impreso por estereolitografía.

La visualización de los escaneos se realizaron con el software DentalCad v3.



Figura 24: Escáner EGSolutions DScan 3 y detalle del numero de serie y la plataforma de escaneo respectivamente

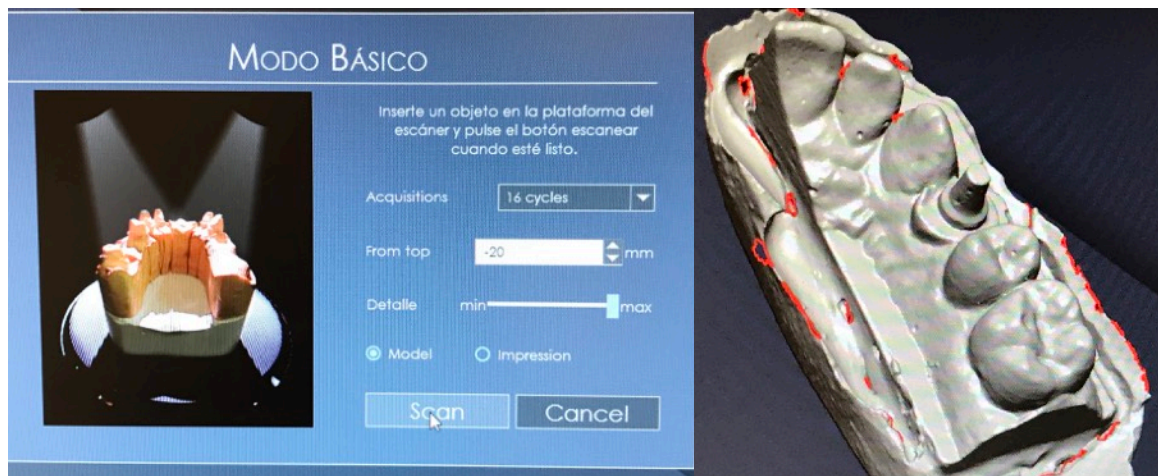


Figura 25: Seteos dentro del software DentalCad v3 y resultado del escaneo con errores de GAPS que fueron resueltos por el mismo software

|                        |                      |
|------------------------|----------------------|
| Tecnología de escaneo  | Luz estructurada     |
| Resolución             | 1477x831 px (1.3 MP) |
| Fuente de Luz          | Laser azul (470nm)   |
| Movimiento de rotación | Movimiento de 2 ejes |

Tabla 4: Características técnicas del escaner EGSolutions DScan 3

## **Impresiones y modelos obtenidos por técnicas convencionales**

Para la evaluación de las técnicas convencionales las impresiones y los modelos fueron realizados en su totalidad por el mismo operador. Para la realización de las impresiones (n=5) se utilizaron cubetas parciales de acero rígida, lisa, tipo Rim-Lock, en las que se realizaron marcaciones para facilitar el posicionamiento del modelo maestro en una única posición.

## **Materiales utilizados**

En la Tabla 4 se detallan los materiales para impresiones y modelos utilizados en este estudio:

|             | Alginato                     | Silicona por condensación                       | Silicona por adición                                           | Yeso densita                                               |
|-------------|------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Marca       | CHROM IQ<br>(LASCOD, Italia) | Speedex<br>(Coltène/<br>Whaledent Inc.,<br>USA) | PRESIDENT The<br>Original (Coltène/<br>Whaledent Inc.,<br>USA) | Densell Densita<br>tipo IV (DMG,<br>Densell,<br>Argentina) |
| Lote        | 1690301149108                | SC0086                                          | I11450                                                         | QJ0504                                                     |
| Vencimiento | 03/2024                      | 03/2024                                         | 30/09/2020                                                     | 10/2022                                                    |

Tabla 4: Materiales utilizados

Para realizar la dosificación del yeso densita de manera correcta se utilizó una balanza digital modelo Sck-500 (GAMMA, Italia) para pesar el material, y una probeta graduada para la dosificación del agua, con la finalidad de utilizar las proporciones expresadas por el fabricante.

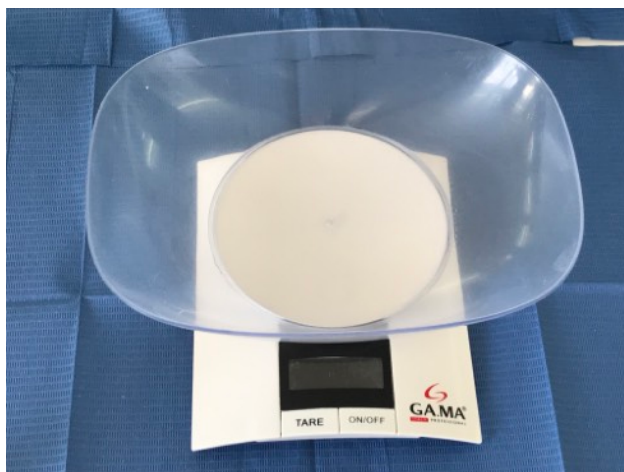


Figura 26: Balanza digital modelo Sck-500 (GAMMA, Italia)

## Impresión con alginato

Para las impresiones del modelo maestro con alginato se utilizó alginato CHROM IQ (LASCOD, Italia) con los proporcionadores de polvo y agua de la misma marca, siguiendo las instrucciones del fabricante. Para la realización de las impresiones se utilizó cubeta parcial de acero rígida, lisa, tipo Rim-Lock.



Figura 27: Alginato CHROM IQ (LASCOD, Italia), cubeta parcial tipo Rim-Lock e impresión del Modelo Principal con alginato

Cada una de las impresiones obtenidas con alginato -hidrocoloide irreversible- fueron almacenadas durante 20 minutos en un ambiente de humedad relativa (recipiente hermético que contenía un trozo de algodón húmedo) para evitar los fenómenos de sinéresis e imbibición, mientras se aguardaba la recuperación elástica del material. Una vez concluido dicho plazo se confeccionó el modelo con yeso densita Densell Densita tipo IV (DMG, Densell, Argentina), dosificando el polvo y el líquido en la proporción de 23 ml de agua por cada 100 gramos de yeso. Durante el llenado de la impresión se realizó un vibrado suave para evitar la presencia de burbujas de aire en la masa de material. Mientras se esperó el fraguado del yeso (45 minutos), el conjunto impresión+modelo se almacenó en el mismo recipiente hermético.



Figura 28: Modelos obtenidos en Yeso densita Densell Densita tipo IV (DMG, Densell, Argentina) con las impresiones de Alginato.

### **Impresión con silicona por condensación**

Para las impresiones del modelo maestro con silicona por condensación se utilizó silicona masilla y fluida Speedex (Coltène/Whaledent Inc., USA) y el activador universal Speedex (Coltene) con el dosificador de masilla correspondiente, siguiendo las instrucciones del fabricante. Para la realización de las impresiones en dos tiempos, se utilizó cubeta de acero rígida, lisa, tipo Rim-Lock. Antes de confeccionar el modelo de yeso de cada impresión, se aguardaron 30 minutos para permitir la recuperación elástica del material.



Figura 29: Silicona masilla y fluida Speedex (Coltène/Whaledent Inc., USA) junto al activador universal (Coltène/Whaledent Inc., USA). a la derecha se muestra la impresión obtenida con estos materiales.

Una vez cumplido dicho plazo, se confeccionó el modelo con yeso densita Densell Densita tipo IV (DMG, Densell, Argentina), en la proporción de 23 ml de agua por cada 100 gramos de yeso, y se aguardó el fraguado del yeso (45 minutos).



Figura 30: Modelos obtenidos en Yeso densita Densell Densita tipo IV (DMG, Densell, Argentina) con las impresiones de Silicona por condensación.

### **Impresión con silicona por adición**

Para las impresiones del modelo maestro con silicona por adición se utilizó silicona masilla y fluida PRESIDENT The Original (Coltène/Whaledent Inc., USA) con los dosificadores de masilla correspondientes, siguiendo las instrucciones del fabricante. Para la realización de las impresiones en dos tiempos se utilizó cubeta de acero rígida, lisa, tipo Rim-Lock. Las impresiones obtenidas con silicona por adición fueron almacenadas durante 60 minutos mientras se aguardaba la recuperación elástica del material y la liberación de hidrógenos.



Figura 31: Silicona masilla y fluida PRESIDENT The Original (Coltène/Whaledent Inc., USA)

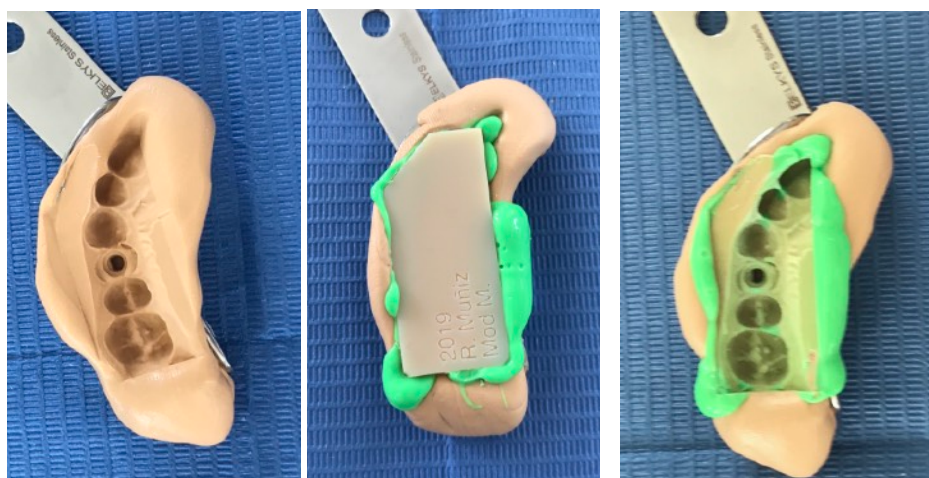


Figura 32: Impresión en dos tiempos del modelo principal utilizando la Silicona por adición masilla y fluida PRESIDENT The Original (Coltène/Whaledent Inc., USA)

Posteriormente, se confeccionó el modelo con yeso densita Densell Densita tipo IV (DMG, Densell, Argentina), en la proporción de 23 ml de agua por cada 100 gramos de yeso, y se aguardó el fraguado durante 45 minutos.



Figura 33: Modelos obtenidos en Yeso densita Densell Densita tipo IV (DMG, Densell, Argentina) con las impresiones de Silicona por adición.

## **Procesamiento de los datos (escaneados)**

Para la evaluación de la precisión de los escáneres, cada modelo principal obtenido de cada escáner intraoral se superpusieron al modelo de referencia correspondiente (CAD MAESTRO), a través del programa **GOM inspect 2019** de diseño industrial.

En el presente estudio, las diferencias promedio entre el escáner del modelo maestro, los modelos principales de cada escáner y de los modelos de yeso en todos los puntos de las superficies se calcularon mediante la función de “*best fit*” del programa. El registro utiliza la información de la superficie de dos conjuntos de datos para calcular la rotación y la traslación entre conjuntos de datos. Se buscan los puntos y formas correspondientes y se minimiza la distancia después de la rotación y la traslación. El error de la coincidencia de dos superficies puede evaluarse midiendo las distancias euclidianas en 3D entre grandes cantidades de puntos de superficie en las dos imágenes mediante la función “*SI Comparison on CAD*” del programa. Esto muestra el mapa de color de la desviación de la distancia entre las dos superficies (puntos de datos de nubes). En otras palabras, las diferencias entre las dos imágenes se pueden evaluar utilizando métodos de mapeo de colores. Los mapas de color indicaban desplazamiento interno (azul) o externo (rojo) entre estructuras superpuestas, mientras que un cambio mínimo se indicaba con un color verde.

Otros parámetros tenidos en consideración para hacer las comparaciones son: las medias, las desviaciones estándar, los valores mínimos y máximos de distancias entre puntos. También se utilizó el valor RMS (root mean square o raíz cuadrada de la media cuadrática o error cuadrático medio) ya que es una forma de cuantificar una variable que se manifiesta con desviaciones positivas y negativas con respecto a un patrón. Como hay valores positivos y negativos se obtienen los cuadrados de cada uno de ellos con lo que quedan todos valores positivos. Luego se suman esos valores cuadráticos y se divide por la cantidad de valores con lo que se obtiene la media cuadrática. La raíz cuadrada de ese número es la RMS y es una cuantificación de la variable de interés.

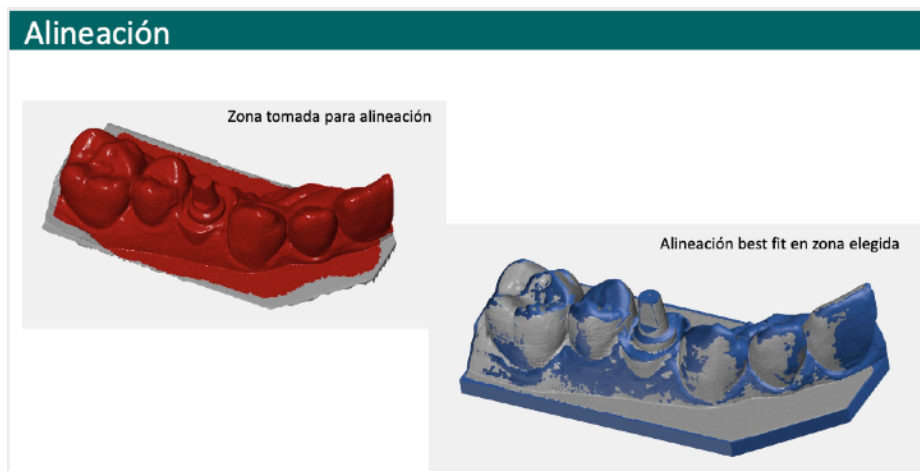


Figura 34: Parámetros y zonas seleccionados del CAD MAESTRO para realizar las comparaciones

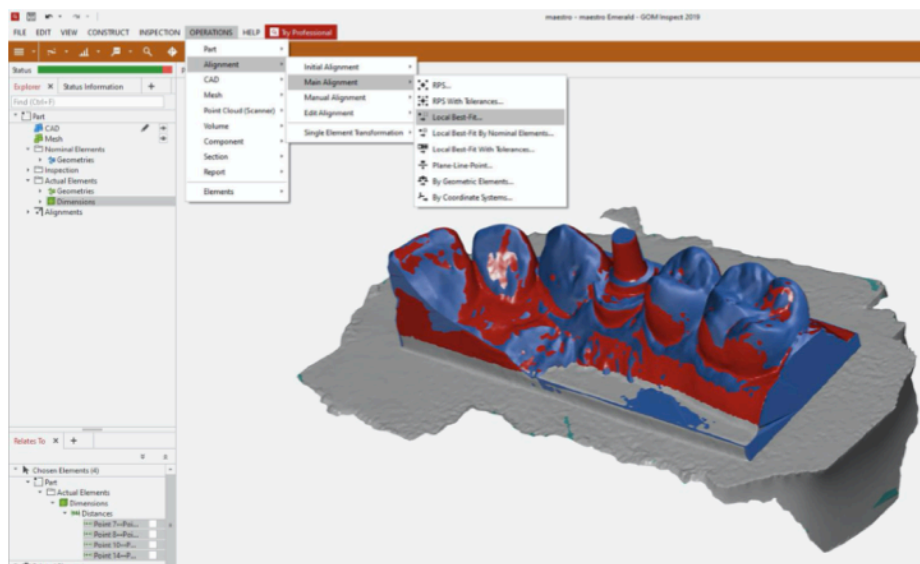


Figura 35: Función “best fit” del software GOM Inspect 2019

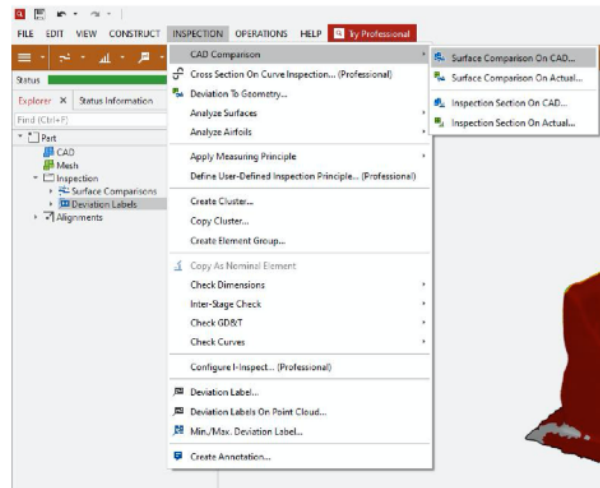


Figura 36: Función“Surface Comparison on CAD” en GOM Inspect 2019

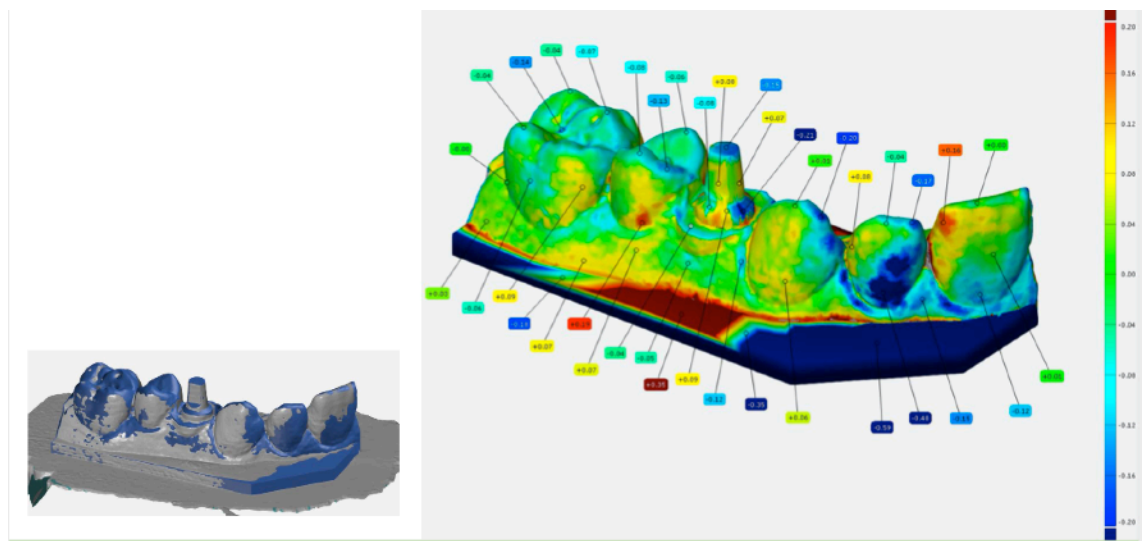
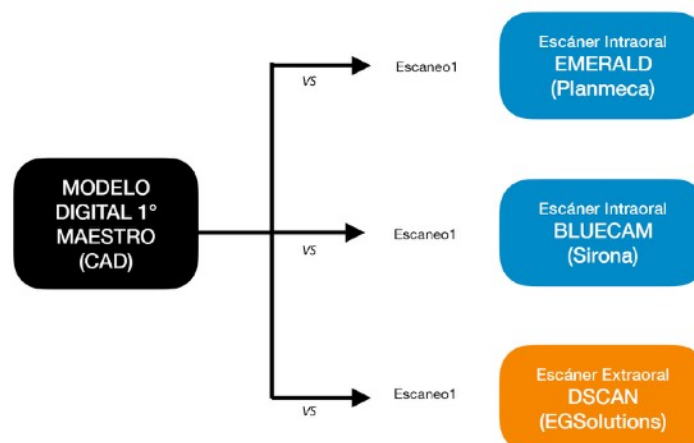


Figura 37: Mapa de color dentro del software GOM Inspect 2019

Para la Comparativa 1 además de la superposición general del modelo, se tomaron las siguientes medidas como referencia de mediciones específicas, con cada uno de los escaneos maestros (escaneo1) realizado con los tres dispositivos.



- Altura de segundo premolar, por vestibular, medida a nivel del cenit hasta la cúspide vestibular (puntos 5 y 6), ancho mesio-distal de la misma pieza dentaria, tomando como referencia el surco principal y su proyección hasta las caras proximales (puntos 1 y 4)
- Distancia lineal entre el punto más distal del primer molar (punto 14) y el ángulo disto incisal de la pieza 21 (punto 13)
- Volumen tridimensional del pilar de implante del primer premolar

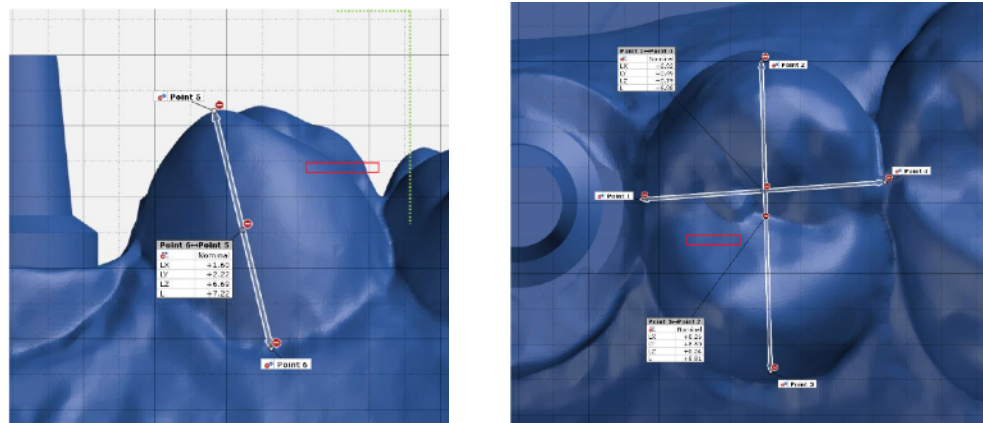


Figura 38: Altura de pieza 25 y distancia mesio-distal de la misma.

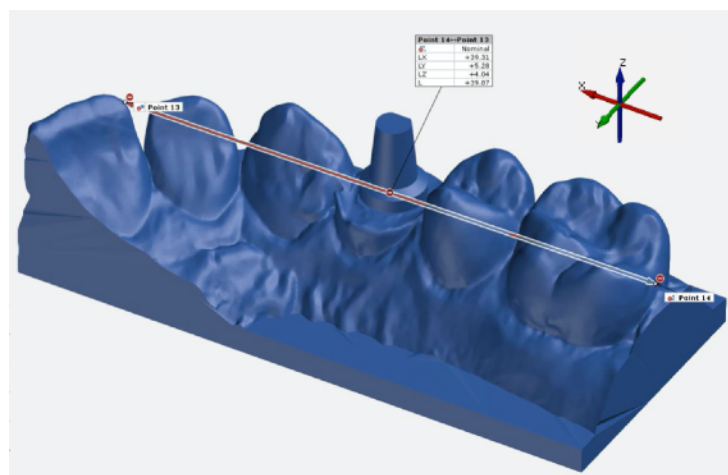


Figura 39: Distancia lineal entre ángulo disto incisal y el punto mas distal de pieza 26.

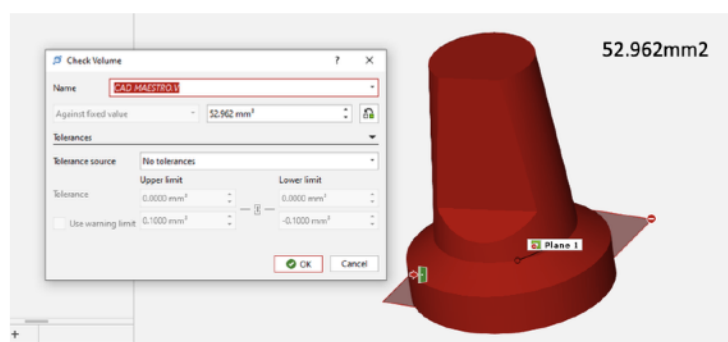
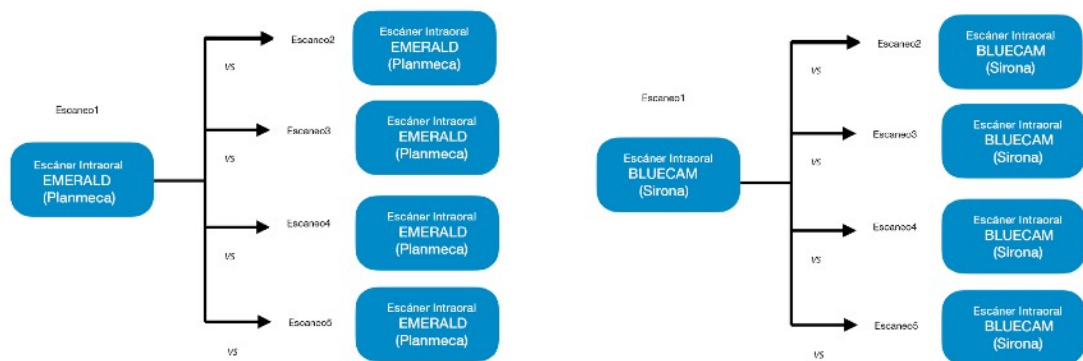
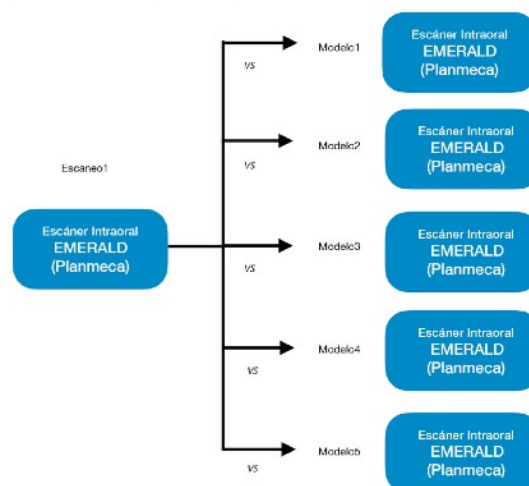


Figura 40: Volumen tridimensional del analogo de implante de la pieza 24.

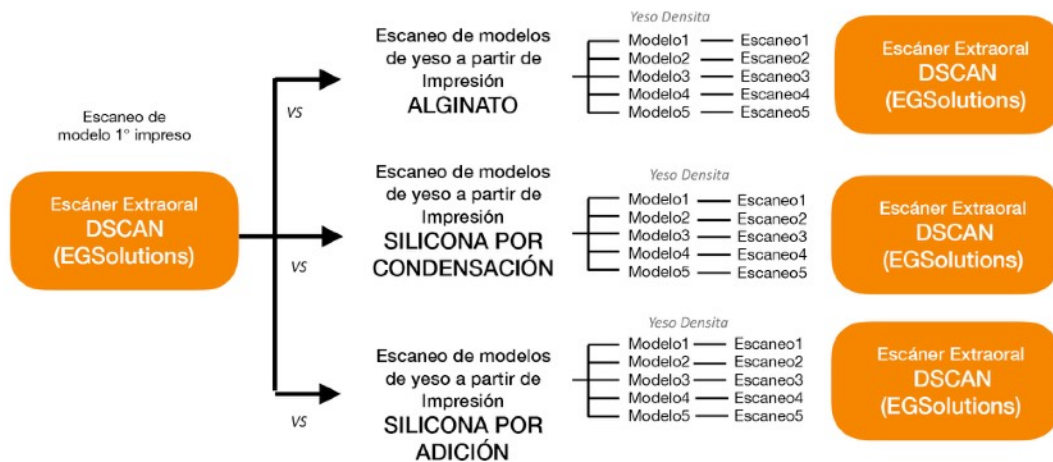
Se siguió un procedimiento similar para la evaluación de la precisión de los dos escáneres intraorales (Comparativa 2a y 2b). En este caso, sin embargo, la referencia para la superposición no fue el modelo del CAD ORIGINAL, sino con el modelo principal obtenido con cada escáner intraoral. Básicamente de esta manera, todos los escaneos intraorales realizados con el mismo escáner se superpusieron con el modelo principal seleccionado de cada uno; obteniendo así valores que nos permitirán evaluar la repetitividad de cada uno.



En la Comparativa 3 se analiza la reproducibilidad de la impresora Stratasys Objet260 (Stratasys Ltd.). En este caso se imprimieron los cinco escaneos realizado con el Planmeca® Emerald con esta impresora y estos nuevos modelos, a su vez, vuelto a escanear con el mismo escáner. Todos los escaneos fueron superpuestos con el modelo principal de Planmeca® Emerald y se compararon sus diferencias.



Finalmente, en la Comparativa 4 se analiza la capacidad de reproducibilidad de los materiales tradicionales al ser contrapuestos al escaneo del modelo principal realizado con el escáner extraoral EGS Solutions DScan 3 y así determinar que material de impresión tradicional en odontología es el más preciso.



Todas las medidas se registraron en una tabla diseñada para tal fin, mediante una planilla de cálculos (Excel, Microsoft). Para la evaluación de la precisión de los escáneres se consideraron los porcentajes de discrepancia entre cada escaneo y el modelo digital maestro para cada una de las medidas realizadas y la sumatoria de porcentajes absolutos. Para la superposición de modelos se contemplaron los valores de discrepancias: máximo positivo y máximo negativo, y se calculó el valor RMS (Root Mean Square o raíz cuadrada de la media cuadrática o error cuadrático medio) para su posterior análisis estadístico, análisis de varianza (ANOVA) y test de comparaciones múltiples de Tukey, con el software SPSS Statistics (IBM). Se estableció el valor de significancia  $p < 0.05$ .

## **RESULTADOS**

Los resultados de las medidas lineales del modelo CAD expresados en la Tabla 4 (Comparativa 1), corresponden a mediciones en milímetros de: altura del premolar 2.4 (del cenit a cúspide), ancho medio distal de la misma pieza dentaria, distancia desde el ángulo incisal de la pieza dentaria 2.1 al punto más distal de la pieza 2.6, y la medida volumétrica corresponde al volumen del pilar de implante de la pieza 2.5 expresado en mm<sup>2</sup>. Los resultados de los tres dispositivos evaluados están expresados en porcentaje de la discrepancia (positiva o negativa) respecto del modelo CAD

|                     | ALTURA | ANCHO   | DISTANCIA | VOLUMEN |
|---------------------|--------|---------|-----------|---------|
| CAD                 | 7,22   | 6,98    | 39,87     | 52,96   |
| BlueCam(Sirona)     | 0 %    | -0,86 % | 0,28 %    | -6,60 % |
| Emerald(Planmeca)   | 1,11 % | -0,29 % | 0,45 %    | -1,46 % |
| Dscan (EGSolutions) | 1,25 % | -0,57 % | 0,08 %    | 0,08 %  |

Tabla 4: Discrepancias encontradas en los escaneos intraorales y extraoral respecto del modelo CAD.

En la Tabla 5 se expresan de cada dispositivo evaluado: promedio, desvío estándar y los máximos valores (positivos y negativos) de las discrepancias halladas en la superposición, vestibular y palatina, de cada escaneo con el modelo CAD (Comparativa 1). Valores expresados en mm y mm<sup>2</sup>.

|          | Promedio | DS    | MAX POSITIVO | MAX NEGATIVO |
|----------|----------|-------|--------------|--------------|
| BlueCam  | 0,04     | 0,104 | 0,33         | -0,11        |
| Planmeca | -0,03    | 0,161 | 0,35         | -0,59        |
| Dscan    | -0,02    | 0,092 | 0,23         | -0,18        |

Tabla 5: Valores promedio, desvío estándar y máximos positivos y negativos de los tres dispositivos evaluados.

En las Tablas 6, 7 y 8 (Comparativas 2a, 2b y 3 respectivamente) se muestran los resultados del análisis de la repetitividad de los dos escáneres intraorales y la impresora Objet260, detallando promedio, desvío estándar y los máximos valores (positivos y negativos) de las discrepancias halladas en la superposición, vestibular y palatina, de los escaneos subsiguientes al escaneo maestro obtenidos con cada dispositivo.

|                 | <i>Promedio</i> | <i>DS</i> | <i>MAX POSITIVO</i> | <i>MAX NEGATIVO</i> |
|-----------------|-----------------|-----------|---------------------|---------------------|
| <i>Bluecam2</i> | 0,02            | 0,05      | 0,19                | -0,05               |
| <i>Bluecam3</i> | 0,00            | 0,05      | 0,18                | -0,16               |
| <i>Bluecam4</i> | 0,00            | 0,04      | 0,15                | -0,13               |
| <i>Bluecam5</i> | 0,00            | 0,04      | 0,11                | -0,12               |

Tabla 6: Valores promedio, desvío estándar y máximos positivos y negativos para analizar la repetitividad del escáner Bluecam.

|                    | <i>Promedio</i> | <i>DS</i> | <i>MAX POSITIVO</i> | <i>MAX NEGATIVO</i> |
|--------------------|-----------------|-----------|---------------------|---------------------|
| <i>Planmeca 02</i> | 0,00            | 0,10      | 0,19                | -0,36               |
| <i>Planmeca 03</i> | 0,00            | 0,12      | 0,20                | -0,18               |
| <i>Planmeca 04</i> | -0,01           | 0,10      | 0,39                | -0,29               |
| <i>Planmeca 05</i> | -0,01           | 0,10      | 0,30                | -0,33               |

Tabla 7: Valores promedio, desvío estándar y máximos positivos y negativos para analizar la repetitividad del escáner Planmeca.

|                    | <i>Promedio</i> | <i>DS</i> | <i>MAX POSITIVO</i> | <i>MAX NEGATIVO</i> |
|--------------------|-----------------|-----------|---------------------|---------------------|
| <i>Modelo PEM1</i> | -0,01           | 0,15      | 0,20                | -0,41               |
| <i>Modelo PEM2</i> | 0,01            | 0,13      | 0,27                | -0,24               |
| <i>Modelo PEM3</i> | 0,00            | 0,15      | 0,25                | -0,23               |
| <i>Modelo PEM4</i> | -0,01           | 0,19      | 0,26                | -0,30               |
| <i>Modelo PEM5</i> | 0,04            | 0,21      | 0,37                | -0,33               |

Tabla 8: Valores promedio, desvío estándar y máximos positivos y negativos para analizar la repetitividad de la impresora Objet260 tomando como referencia el escáner maestro del escáner intraoral Planmeca.

En la Tabla 9 se muestran los valores de RMS (root mean square o raíz cuadrada de la media cuadrática o error cuadrático medio) de las discrepancias positivas y negativas obtenidas por la superposición de imágenes con respecto al modelo tomado como patrón. Para esta comparativa o superposición se consideraron solo los valores de discrepancia ubicados en la porción dentaria con la finalidad focalizar el análisis en las zonas críticas en una rehabilitación protética sobre estructura dentaria o sobre pilar protético para implantes.

|            | <i>DSCAN</i> | <i>ALGINATO</i> | <i>SILICONA ADICIÓN</i> | <i>SILICONA CONDENSACIÓN</i> |
|------------|--------------|-----------------|-------------------------|------------------------------|
| <i>RMS</i> | 0,10         | 0,20            | 0,09                    | 0,11                         |

Tabla 9: Valores de RMS (root mean square o raíz cuadrada de la media cuadrática o error cuadrático medio) obtenidos del análisis de la superposición de modelos.

El análisis de varianza (ANOVA), el análisis de comparaciones múltiples y las pruebas post-hoc realizadas para la variable RMS de los escaneos de los modelos 3D y

de los modelos de yeso obtenidos por técnicas convencionales se puede observar en las Tablas 10, 11 y 12.

| ANOVA                     |                   |    |                  |       |       |
|---------------------------|-------------------|----|------------------|-------|-------|
| RMS solo porción dentaria |                   |    |                  |       |       |
|                           | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F     | Sig.  |
| Inter-grupos              | 0,035             | 3  | 0,012            | 8,123 | 0,003 |
| Intra-grupos              | 0,019             | 13 | 0,001            |       |       |
| Total                     | 0,054             | 16 |                  |       |       |

Tabla 10: Análisis estadístico - ANOVA

| Comparaciones múltiples                         |              |              |                            |              |       |                               |                 |
|-------------------------------------------------|--------------|--------------|----------------------------|--------------|-------|-------------------------------|-----------------|
| Variable dependiente: RMS solo porción dentaria |              |              |                            |              |       | Intervalo de confianza al 95% |                 |
|                                                 | (I) material | (J) material | Diferencia de medias (I-J) | Error típico | Sig.  | Límite inferior               | Límite superior |
| HSD de Tukey                                    | alginato     | silic_cond   | ,08334*                    | 0,02394      | 0,019 | 0,0131                        | 0,1536          |
|                                                 |              | silic_adic   | ,11010*                    | 0,02394      | 0,002 | 0,0398                        | 0,1804          |
|                                                 |              | Dscan        | ,09764*                    | 0,03167      | 0,038 | 0,0047                        | 0,1906          |
|                                                 | silic_cond   | alginato     | -,08334*                   | 0,02394      | 0,019 | -0,1536                       | -0,0131         |
|                                                 |              | silic_adic   | 0,02676                    | 0,02394      | 0,685 | -0,0435                       | 0,0970          |
|                                                 |              | Dscan        | 0,01430                    | 0,03167      | 0,968 | -0,0787                       | 0,1073          |
|                                                 | silic_adic   | alginato     | -,11010*                   | 0,02394      | 0,002 | -0,1804                       | -0,0398         |
|                                                 |              | silic_cond   | -0,02676                   | 0,02394      | 0,685 | -0,0970                       | 0,0435          |
|                                                 |              | Dscan        | -0,01246                   | 0,03167      | 0,978 | -0,1054                       | 0,0805          |
|                                                 | Dscan        | alginato     | -,09764*                   | 0,03167      | 0,038 | -0,1906                       | -0,0047         |
|                                                 |              | silic_cond   | -0,01430                   | 0,03167      | 0,968 | -0,1073                       | 0,0787          |
|                                                 |              | silic_adic   | 0,01246                    | 0,03167      | 0,978 | -0,0805                       | 0,1054          |

Tabla 11: Análisis estadístico - Test de comparaciones múltiples

| RMS solo porción dentaria   |            |   |                                 |        |
|-----------------------------|------------|---|---------------------------------|--------|
|                             | material   |   | Subconjunto para alfa<br>= 0.05 |        |
|                             |            | N | 1                               | 2      |
| HSD de Tukey <sup>a,b</sup> | silic_adic | 5 | 0,0852                          |        |
|                             | Dscan      | 2 | 0,0977                          |        |
|                             | silic_cond | 5 | 0,1120                          |        |
|                             | alginato   | 5 |                                 | 0,1953 |
|                             | Sig.       |   | 0,777                           | 1,000  |

Tabla 12: Análisis estadístico - Prueba de Tukey

Se observó diferencia estadísticamente significativa entre los grupos analizados ( $p=0,003$ ). En el análisis de comparaciones múltiples se observa que dicha diferencia se encuentra en el grupo de alginato respecto del resto de los grupos (Dscan, y ambas siliconas), entre los cuales no se halló diferencia estadísticamente significativa, tal como se observa también en la prueba post-hoc de Tukey. De todos modos, observando la media de los valores de RMS podemos inferir que la mayor precisión se encuentra en los modelos obtenidos a partir de impresiones tomadas con siliconas que polimerizan por adición, seguido por el escaneo extraoral, luego las siliconas por condensación y finalmente el alginato.

## **DISCUSIÓN**

El objetivo principal del presente estudio fue evaluar la precisión, en términos de repetitividad y reproducibilidad de distintos sistemas y tipos de escáneres de uso en odontología y su comparación con materiales y técnicas de impresión dental utilizados tradicionalmente por los profesionales a lo largo del tiempo. Se optó por realizar el trabajo in vitro para obviar posibles factores que pudieran interferir a nivel de los escáneres intraorales en la valoración de la precisión, como la presencia de saliva, interposición de la lengua o su movimiento u otras alteraciones del medio bucal, y así poner a los escáneres intraorales al mismo nivel que el escáner extraoral. En un futuro se realizará un estudio in vivo que valore la precisión de los escáneres intraorales y la influencia de dichos factores en ello.

En la literatura existen muchas diferencias entre los conceptos de precisión, repetitividad y reproducibilidad, y la metodología para su determinación. Constatamos que hay estudios que utilizan nuestra misma metodología para determinar la repetitividad y reproducibilidad, pero utilizan el termino de veracidad (trueness) en lo que a la reproducibilidad respecta y el concepto de respetabilidad no lo utilizan y lo nombran como ‘accuracy’ o ‘precision’ (21,22,23). Para determinar estos valores y agruparlos dentro del termino de precisión, en este estudio se utilizó el valor RMS y el desvío estándar (DS) como las unidades para determinarla. El valor RMS (root mean square o raíz cuadrada de la media cuadrática o error cuadrático medio) es una forma de cuantificar una variable que se manifiesta en forma de onda, es decir con picos (elevaciones) y valles (depresiones). Como hay valores positivos y negativos se obtienen los cuadrados de cada uno de ellos con lo que quedan todos valores positivos. Luego se suman esos valores cuadráticos y se divide por la cantidad de valores con lo que se obtiene la media cuadrática. La raíz cuadrada de ese número es la RMS y es una cuantificación de la variable de interés de este estudio.

Dados los resultados descriptos en la bibliografía, que se detallan a continuación, y al ser el objetivo del trabajo la comparación del universo digital con el analógico tradicional, se eligió el escáner extraoral DScan 3 como el escáner principal y por el cual se realizaron las comparativas con los materiales tradicionales, ya que

mostró el mejor resultado a valor numérico (valores lineales, espaciales y volumétricos) y menor discrepancia dimensional con el CAD original. Se tomaron las comparativas 1, 2a, 2b y 3 como estudio preliminares a modo de descripción de los escáneres seleccionados para este trabajo. Haciendo el cálculo de la sumatoria de %, con su valor absoluto (sin considerar los signos - o +) se observó que el escáner extraoral Dscan (EGSolutions) presentó menor discrepancia, seguido por el escáner intraoral Emerald (Planmeca), y por último el escáner intraoral BlueCam (Sirona).

En este estudio se utilizó un modelo impreso en 3D (estereolitografía) con la impresora Stratasys Objet 260, como modelo maestro sobre el que se realizaron los escaneos para hacer las mediciones y las impresiones con los materiales de impresión mas utilizados en odontología (alginato, silicona por condensación y adición). Seleccionamos los escáneres intraorales Cerec® Bluecam y Planmeca® Emerald y el escáner extraoral EGSolution DScan 3 con la intención de estudiar tres tipos de escáneres con diferente tecnologías y sistemas de captación de imágenes. Cerec ® Bluecam requiere el uso de polvo de oxido de titanio (DENU Easy Scan) para realizar el escaneo y la subsiguiente digitalización de los datos obtenidos. La necesidad de la utilización de este polvo es vista como un inconveniente clínico para muchos odontólogos. Rhee y cols (24), en su estudio de superposición, utilizaron un escáner que no utiliza esta técnica porque consideraron que dicha capa de polvo (oxido de titanio) sobre el cuerpo a escanear puede generar un espesor adicional no homogéneo, transfigurando el contorno del área a escanear. Dicha conclusión se puede comparar con nuestros resultados ya que el escáner CEREC® Bluecam fue el que mostró mayor discrepancia de los valores obtenidos, siendo este escáner el único en nuestro estudio que necesita el uso de esta capa de polvo para realizar la operación digital. Es decir, que este escáner mostró diferencias significativas con respecto a los otros utilizados en este estudio. Sin embargo, Syrek y cols (14), Pradies G y cols (25), y Ender y Melh (26) en sus estudios realizaron escaneados con pulverización de modelos de estudio, y concluyeron que dicha acción no genera discrepancias ni afecta a la precisión.

Mangano y cols (27) concluyeron de su análisis in vitro que todos los escáneres intraorales utilizados mostraron una alta precisión y una desviación bastante pequeña. De hecho, cuatro de los cinco escáneres utilizados en dicho estudio (CS 3600®,

Trios3®, DWIO® y Omni-Cam®) mostraron un error de precisión por debajo del umbral crítico, establecido en 30 µm. Solo el escáner Emerald® mostró un valor de precisión mayor al umbral, de 43.1 µm. Sin embargo, estos resultados no muestran diferencias significativas entre si para hacernos dudar sobre su capacidad de reproducción y su precisión. En nuestro estudio el escáner intraoral Planmeca® Emerald dio un resultado promedio de 0,03 mm (equivalente a 30 µm) y una desviación estándar de 0,16 mm lo cual nos indica una similitud al trabajo anterior y reafirma su condición de escáner con una precisión aceptada.

Van der Meer y cols (28) compararon escáneres con diferentes tecnologías: -CEREC® Bluecam (captación de imagen por fotografía ) y Lava COS® (captación por video - la misma tecnología que incorpora el escáner Planmeca® Emerald)- y concluyeron que las diferencias encontradas entre los escáneres pueden estar relacionados con errores de medición inherentes a la tecnología empleada. En los sistemas de captación por multifotografía (CEREC® Bluecam) las superficies 3D se deben analizar con al menos un tercio de solapamiento de la superficie que se escanea ya que el registro de las superficies vecinas se producirá sobre la base de superposición. En el sistema de video (Planmeca® Emerald), con una velocidad de 65 fotografías por segundo, la superposición de las imágenes será probablemente mayor que el antes mencionado de un tercio, o sea que se obtendrá mas información y mayor detalle de reproducción -más puntos en la nube de puntos- lo que podría llevar a un mejor registro de la superficie. Y en cierta forma esto se reprodujo en nuestro estudio, siendo el escáner intraoral Planmeca® Emerald el que menor valor promedio de discrepancia obtuvo dentro del grupo de escáneres intraorales pero con mayor desvío estándar, y el CEREC® Bluecam fue el que presentó mayor valor de discrepancia pero con menor desvío estándar. Separamos aquí al escáner EGSolutions DScan 3 que fue el que mejores resultados mostró en nuestro estudio, ya que utiliza otra tecnología de escaneo (luz azul - láser), posiblemente la mejor forma de obtener información digital de modelos in vitro.

Ning y cols (29) encontraron menor precisión para las imágenes del cuadrante en comparación con las imágenes de un área más pequeña con el escáner intraoral CEREC Bluecam. En combinación con el presente estudio, podemos considerar que

ocurrieron errores de precisión de impresión digital intraoral durante el escaneo cuanto mayor fue la región de escaneo, no así en áreas mas delimitadas, como por ejemplo la parte dentaria de nuestros escaneos. es decir que cuanto más nos alejamos de sector dentarlo o del scanbody y nos acercábamos a los tejidos blando notamos que el margen de error de reproducción de detalle aumentaba de manera exponencial, siendo en algunos escáneres y materiales de impresión menos precisos que otros. en particular el escáner Planmeca® Emerald dentro de las impresiones digitales fue el que mostró mayor discrepancia en estas zonas al igual que en las impresiones tomadas con alginato.

Un factor a tener un cuenta en estas tecnologías, es la pérdida adicional de información puede también estar relacionada con el proceso de escaneo, ya que la precisión de un modelo digital está limitada por la resolución del escáner que lo grabó según lo describieron en su estudio Thorsten y cols (30). Las resoluciones de los escáneres utilizados en este estudio fueron de +/- 50  $\mu$ m.

Otro aspecto técnico que puede influir en los resultados es el protocolo con el cual se realizaron los escaneos. Latham y cols (31) realizaron un estudio para determinar la precisión de cuatro escáneres intraorales variando la técnica de escaneo utilizada y concluyeron que el patrón de escaneo afecta la precisión para ciertos escáneres, pero no para todos. La mayor diferencia existió en la velocidad y precisión del escaneo de una arcada completa, afirmando lo anteriormente expuesto, que a mayor área de exploración mayor discrepancia se encontrarán a nivel dimensional del archivo final (29). Para evitar este posible error, en este estudio se siguió el patrón de escaneo propuesto por cada uno de los fabricantes de los escáneres utilizados.

Ender y cols (32) evaluaron y compararon la precisión de un modelo de estudio de una arcada completa con diferentes escáneres. Los resultados encontrados fueron bastantes elevados entre los diferentes escáneres mostrando diferencias estadísticamente significativas con el escáner CEREC Bluecam. Comprobaron que los datos del sector anterior eran más precisos que los de la zona la posterior y que la zona con menor precisión estaba localizada en el extremo contrario a donde se empezó el escaneo (siguiendo el protocolo de escaneo sugerido por el fabricante). Coincidimos en lo anteriormente mencionado y agregamos la afirmación de Gimenez y cols (33) que la

causa de dichas discrepancias en los extremos podría ser la diferencia de los escáneres extraorales con un puntero fijo y una coordenada estática (0x,0y,0z). Los escáneres intraorales carecen de referencias fijas, por lo tanto, lo que se utiliza como referencia es la primera imagen (foto) hecha por el escáner. todas las imágenes subsiguientes son unidas a la anterior mediante un algoritmo de mejor ajuste (best fit) que representa la mejor posible superposición de ambas imágenes.

Jeong y cols (34) en su estudio de evaluación de la precisión, utilizaron dos escáneres intraorales con tecnologías y sistema de captación diferente: video (CEREC® Omnicam -la misma tecnología que el Planmeca® Emerald) y multi imágenes (CEREC® Bluecam), y también utilizaron un escáner extraoral (Identica Blue; Medit -similar al EGS DScan 3 utilizado en nuestro estudio). Hallaron que las impresiones digitales obtenidas por el escáner de video intraoral mostraron una mayor precisión para las zonas de escaneo mayores (con mayor distancia abarcando mayor cantidad de datos) que las captadas por el escáner de imágenes fijas. Sin embargo, el escáner de video era menos preciso que el escáner extraoral, pero sin encontrar diferencias significativas entre ellos. Mismos resultados que en el presente estudio, siendo la tecnología y el sistema de captación una de las posibles variables, para que el Planmeca® Emerald tenga mejores resultados que el CEREC® Bluecam, y a su vez los del EGSolution DScan 3 mejores resultados que el Planmeca® Emerald, aunque también sin diferencias significativas.

Actualmente con todos los modelos dentales, convencionales y digitales, existen errores inherentes al proceso de fabricación. Por ejemplo, con los modelos digitales fabricados con impresiones de alginato, se pueden perder detalles finos de la anatomía del diente debido a la capacidad limitada del material de impresión para fluir hacia áreas con socavaciones, y los posibles cambios dimensionales propios del material, posibles causas que puede agravar el problema (35,36). Para minimizar la posibilidad de errores inherentes a la manipulación de los materiales, en caso de no contar con escáner intraoral, podría ser recomendable el escaneado extraoral de la impresión y no del modelo., pero en ese caso el material de impresión debe tener las propiedades suficientes para ser detectado por el escáner.

Si analizamos los resultados y las conclusiones de la bibliografía, podemos observar que la precisión de los escáneres intraorales está limitada en la mayoría de los estudios in vitro al error acumulado desde la toma de impresión convencional, vaciado del modelo, escaneado del modelo maestro original con un escáner extraoral, escaneado del modelo maestro con los escáneres intraorales y superposición mediante el software,. estas observaciones nos acercan a lo expuesto por Ender y cols (32), quien dice que esas variables modifican indudablemente a los resultados. Es por este motivo que se sugiere que sea el método con el cual se elige trabajo seguir siempre las instrucciones del fabricante y los protocolos actualizados de dicha técnica.

Zhang y cols (37) demostraron la validez del uso y los resultados del escáner intraoral y extraoral en comparación con las técnicas tradicionales de impresión y obtención de modelo de yeso, y han concluido que los resultados de sus estudios indican que las mediciones dentales de los escáneres intraorales y en especial la del escáner extraoral (que fue el que mostró menor discrepancia) son clínicamente aceptables en las prácticas clínicas odontológicas y pueden utilizarse en lugar de los modelos de yeso.

Los mapas de desviación codificados por colores en la comparativa 4 de este estudio, muestran que las desviaciones positivas y negativas se produjeron alternativamente en todo el arco dental, siendo los del escáner extraoral EGSolution DScan los que menos discrepancias mostraron y los resultados de los modelos de alginato los que más se alejaron de este. Estos resultado coinciden con los resultados de Ender y cols (38) los cuales describen una diferencia en la precisión entre las impresiones digitales y las convencionales. en especial las impresiones con alginato las cuales mostraron diferencias significativas comparada con el resto de los materiales.

Las aplicaciones practicas de nuestro trabajo son varias, siendo la mas importante el descubrimiento que los escáneres extraorales a la hora de trabajar con modelos in vitro, mas allá del material en que se hayan realizado, ya que son los mas precisos y muestran las menores diferencias dimensionales con el original. dentro del workflow digital se entiende que debería ser el instrumento de escaneo predilecto,

aunque el escáner intraoral Planmeca® Emerald haya mostrado resultados similares, ya sea un escáner pensado para trabajar in vivo dentro de la cavidad oral.

## **CONCLUSIONES**

*Bajo las condiciones en que este estudio fue realizado podemos concluir que:*

- *El escáner extraoral EGSolutions® DScan 3 presentó mayor precisión que los escáneres intraorales, aunque no presenta diferencia significativa con el escáner Planmeca® Emerald*
- *El escáner intraoral Planmeca® Emerald presentó mayor precisión que el escáner intraoral CEREC® Bluecam, el cual si mostró diferencia significativa en relación a los otros escáneres*
- *Las impresiones con silicona por adición y condensación no mostraron diferencias significativas con respecto a las impresiones del escáner extraoral EGSolutions DScan 3, no así las impresiones realizadas con alginato, las cuales mostraron los mayores valores de discrepancia hallándose diferencias estadísticamente significativas con el resto de los materiales utilizados y el escaneo extraoral*
- *Las impresiones digitales con tecnología de video y luz azul láser pueden ser utilizadas en reemplazo de las impresiones con materiales convencionales, no así con aquellas con tecnología de imagen fija, las cuales si muestran diferencias significativas, pudiendo asociar estas diferencias a la utilización del polvo de óxido de titanio.*

## **ANEXOS**

## ANEXO 1: Clasificación de escáneres intraorales

Los escáneres intraorales se pueden clasificar:

### 1) Según el concepto de trabajo

- Out office: son aquellos sistemas con los cuales se realiza la impresión digital y el archivo obtenido es enviado al laboratorio para el diseño y fabricación.
- In office: son aquellos que permiten completar todo el proceso en la clínica durante una única cita teniendo un sistema integrado.

### 2) Según la tecnología para la captación de la imagen:

- Muestreo activo de fuente de onda (video continuo, luz azul): se trata de un sistema de captación de video 3D en movimiento, basado en el principio de “*Active Wavefront Sampling*” (muestreo activo de fuente de onda). Este concepto incorpora un diseño óptico revolucionario que incluye un procesamiento de la imagen mediante algoritmos y la construcción de un modelo en tiempo real. El escáner más conocido que utiliza esta tecnología es True Definition® (3M®) (Figura 8).

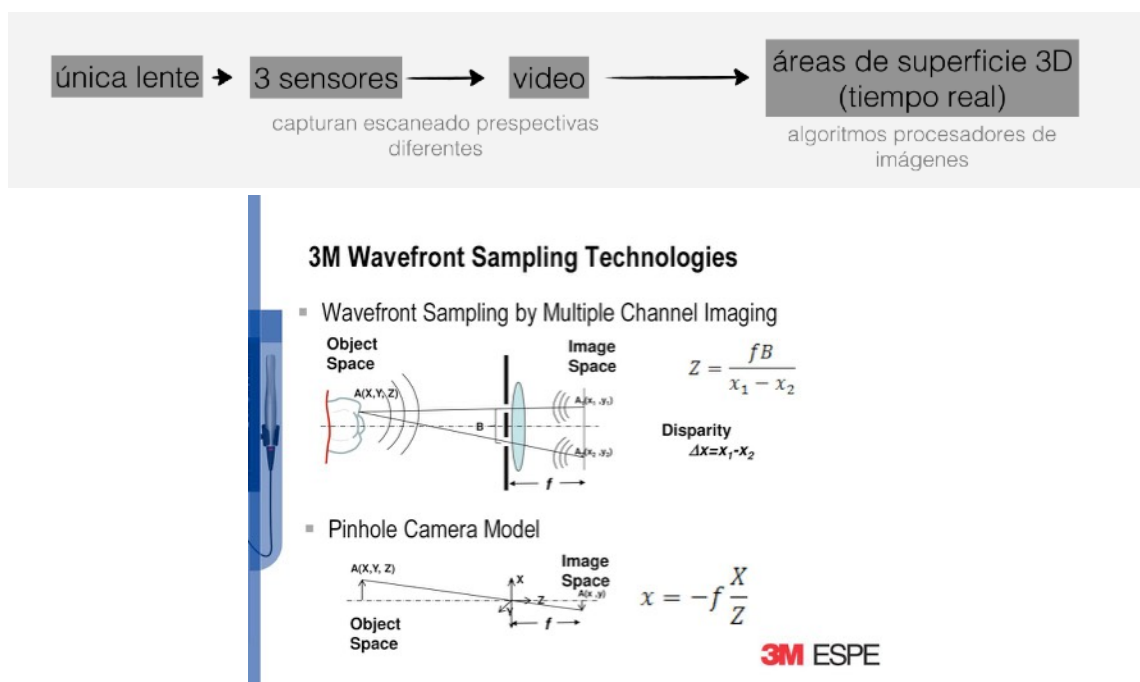


Figura 41: Representación del recorrido de la luz en los escáneres con la tecnología de muestreo activo de fuente de onda, video continuo y luz azul. Principio de Active Wavefront sampling de 3M®

- Sistema paralelo confocal: se trata de un sistema de escaneo óptico, que utiliza un láser rojo y está basado en la teoría del “*parallel confocal imaging*”, que corresponde a la producción de imágenes por microscopía confocal paralela por fotogramas secuenciales (figura 9). El escáner emite un haz de luz por un pequeño orificio, y cualquier superficie a una cierta distancia reflejara la luz hacia un tubo. El aparato proyecta haces de luz láser roja que rebota y al entrar en el orificio la luz reflejada se convierte en datos digitales. El escáner intraoral más conocido que utiliza esta tecnología es Trios 3 (3Shape) e Itero (Zimmer Biomet).

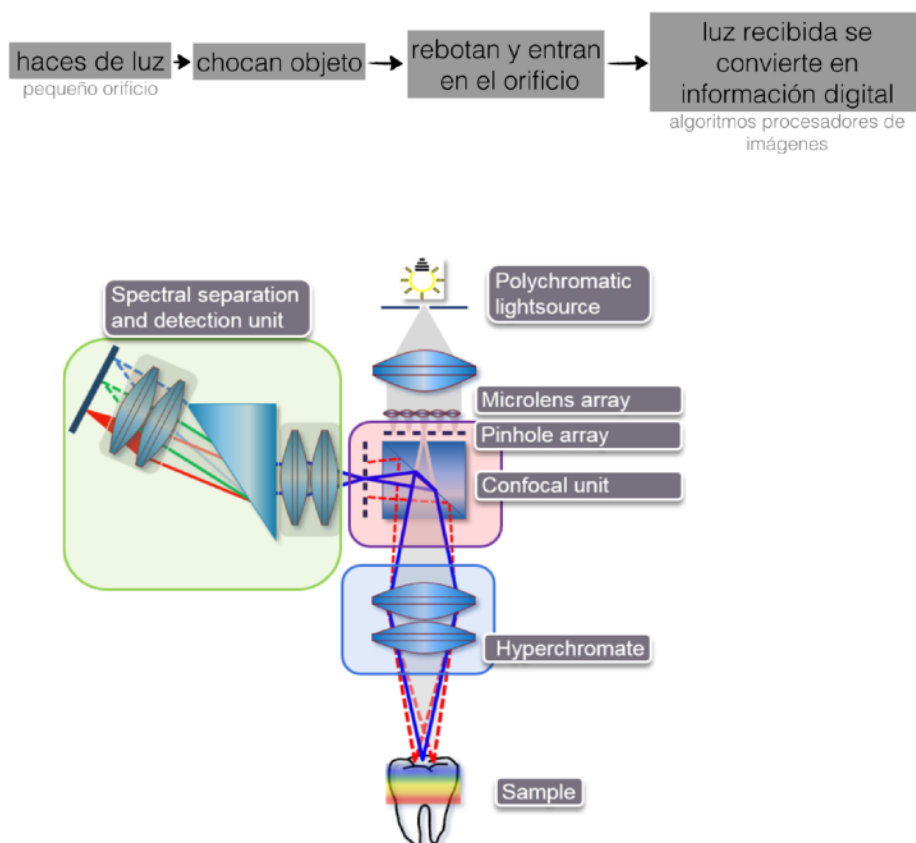


Figura 42: Representación grafica del recorrido de la luz en los escáneres con tecnología de Sistema Paralelo Confocal, fotogramas secuenciales y láser rojo.

- Tomografía de coherencia óptica o sensor confocal: el digitalizador láser incluye una fuente de láser acoplado a un cable de fibra óptica, un acoplador y un detector. El acoplador divide la luz de la fuente de luz en dos caminos. El primer

camino conduce a la formación de imágenes ópticas, que centra el haz sobre un espejo de escáner, que dirige la luz a la superficie del diente preparado. El segundo camino de la luz desde la fuente de luz a través del acoplador se conecta a la línea de retardo óptico y al reflector. La luz se refleja desde la superficie del objeto, pasa a través del espejo del escáner y se combinan en el acoplador con el paso de luz de referencia a partir de la línea de retardo óptico. La luz combinada está acoplada a un sistema de a través de un cable de fibra óptica. El digitalizador láser proporciona una tomografía de coherencia óptica (OCT). Las ópticas de enfoque se colocan en un dispositivo de posicionamiento con el fin de alterar la posición de enfoque del haz de láser y para funcionar como un sensor confocal. Una serie de segmentos forman la imagen con láser en el objeto a partir de una posición entrelazada entre dos o varios mapas 3D de la muestra desde la misma posición de la muestra. Los mapas 3D entrelazados pueden estar alineados con un software para producir una única densa nube de puntos 3D que no tiene inexactitudes inducidas o artefactos de movimiento. El movimiento del operador entre cada subtrama puede ser rastreado matemáticamente a través de los puntos de referencia en el mismo conjunto de datos (figura 10). El escáner intraoral más conocido que utiliza esta tecnología es Planmeca Emerald (Planmeca).

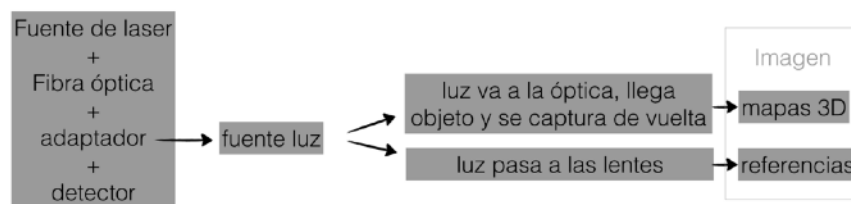


Figura 43: Representación del recorrido de la luz en los escáneres con tecnología de Tomografía de coherencia óptica o sensor confocal y láser azul.

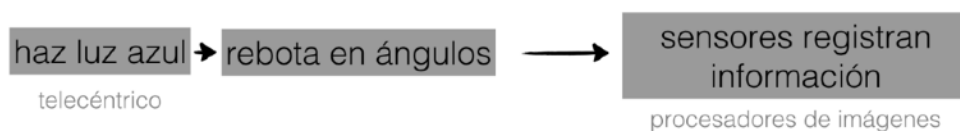
La Tomografía de Coherencia Óptica ha sido usada en oftalmología durante algún tiempo, pero actualmente existen aplicaciones para el área odontológica que se encuentran en constante evolución.

La empresa norteamericana Lantis Laser Inc. ha anunciado la Tomografía de Coherencia Óptica, como una tecnología parecida a los procedimientos de ultrasonido (ecografía) ya conocidos, pero mientras que éstos recurren a ondas de sonido para construir una imagen del tejido examinado a través de reflexiones,

para el nuevo método se usan rayos láser que son reflejados por las estructuras celulares más finas. El dispositivo produce imágenes bidimensionales y tridimensionales con una resolución hasta de 1 micrón. Y tan profundo como 3mm dentro del tejido, sin emisión de radiaciones nocivas (15).

Sus aplicaciones en odontología pueden ser:

- Detección de caries en 3 dimensiones
  - Diagnóstico preciso de enfermedades periodontales
  - Diagnóstico de cáncer, sin necesidad de extraer tejido mediante biopsia
  - Creación de impresiones digitales
  - Modelos para prótesis, sin necesidad de impresiones
  - Planeamiento de tratamiento ortodóntico
  - Imágenes endodónticas desde dentro del canal
  - Sondeo de las encías sin necesidad de meter un solo instrumento
- Microscopía confocal combinada con triangulación (luz azul): basada en los principios básicos de la microscopía confocal y una técnica de triangulación activa que utiliza una especie de luz azul visible emitida por un diodo LED como su fuente de luz para la captura de imágenes (figura 11). El escáner mas conocido que utiliza esta tecnología es el sistema Cerec Bluecam (Sirona) y el Zfx Intrascan (Zimmer Biomet).



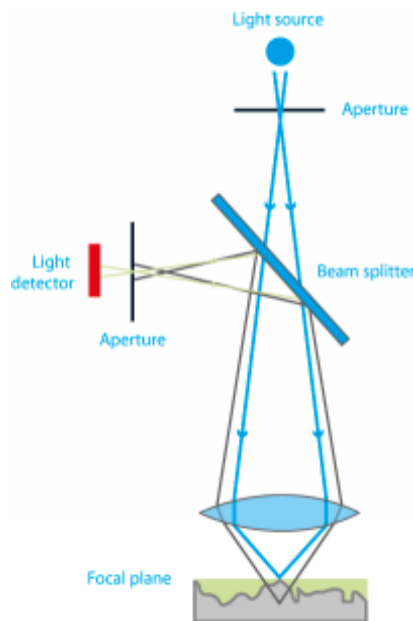


Figura 44: Representación del recorrido de la luz en los escáneres con tecnología de Microscopía confocal combinada con triangulación y luz azul

En resumen, los escáneres intraorales proyectan un haz o una rejilla de luz (luz estructurada o láser) sobre la superficie del diente (o cuerpos presentes dentro del aérea) y capturan, a través de cámaras de alta resolución, la distorsión que sufre dicho haz o rejilla cuando impactan sobre estas estructuras. La información recopilada por estas cámaras es procesada por un software que reconstruye el modelo tridimensional (3D) de las estructuras deseadas.

## ANEXO 2: Clasificación de escáneres extraorales

Los escáneres extraorales se pueden clasificar en:

### 1) Ópticos:

- Escáneres ópticos de luz láser (17-18)

El escáner láser 3D se basa en la triangulación trigonométrica para capturar con precisión una forma 3D y convertirla en millones de puntos de información (malla o “*mesh*”). Más precisamente, funciona proyectando un punto o línea láser sobre un objeto capturando su reflejo con sensores (Figura 15). La luz puede producir desviaciones en estos reflejos, por lo tanto el escaneado debe realizarse totalmente a oscuras. Ejemplos de este tipo de escáner son: 3shape 500 (3shape A/S®, Copenhagen, Dinamarca) y Cercon Eye (Dentsply Sirona®, Salzburg, Austria).

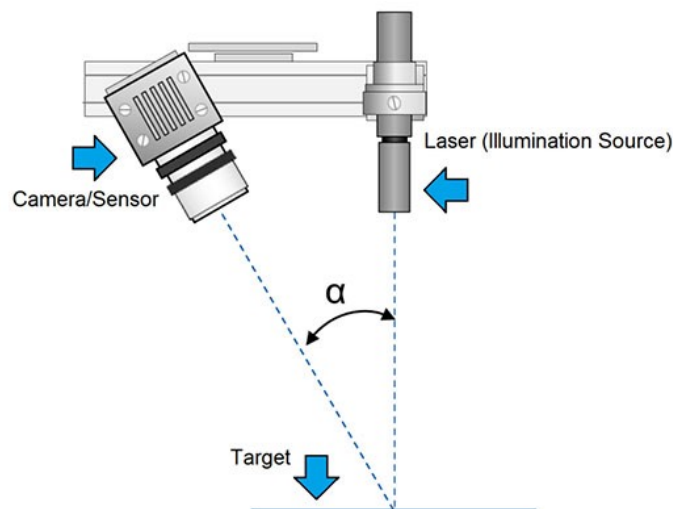


Figura 45: Representación gráfica del funcionamiento de un escáner óptico de luz láser

- Escáneres ópticos de luz estructurada o blanca (17-18)

Varios haces de luz blanca o azules son proyectados sobre la superficie a escanear y los receptores captan el reflejo de esa luz (Figura 16). Estos escáneres, en

comparación con los de luz láser, tienen mayor exactitud debido a que cuentan con mayor información, al disponer de múltiples bandas de luz que se orientan con distintas angulaciones, al contrario que los de luz láser, que proyectan una única banda de luz. Además no es necesario que el medio en donde se realiza el escaneo esté a oscuras, ya que la luz entrante no perjudica el resultado final. Cabe destacar que estos tipos de escáneres se ven afectados por superficies brillantes o translúcidas, por lo que generalmente es necesario utilizar un spray para eliminar los brillos del modelo. Ejemplos de este tipo de escáner son Iscan L1 (Imetric 3D SA, Courgenay, Suiza), SinergiaSCAN 3D (Nobil-Metal®, Vilafranca D'Asti, Italia), Planscan Lab (Planmeca®, Helsinki, Finlandia) y DScan 3 (EGSolutions®, Bologna, Italia).

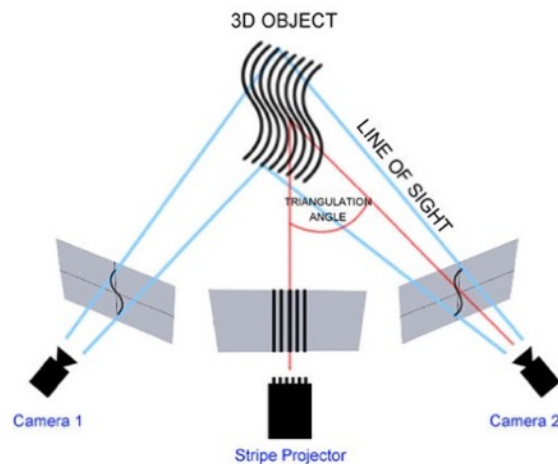


Figura 46: Representación gráfica del funcionamiento de un escáner óptico de luz estructurada o blanca

Las ventajas de los escáneres extraorales ópticos son:

- fácil instalación, reproducible y seguro
- se requiere poco tiempo para una medición (5 segundos)
- la precisión del sistema es altamente satisfactoria, aunque no hay suficientes estudios que lo verifiquen
- la reproductibilidad es asequible para estudios longitudinales
- disminuye el error del operador obteniendo así una mayor precisión

En cuanto a las desventajas:

- el software requiere un aprendizaje especial

- es necesario contar con mayor presupuesto para la adquisición y mantenimiento del equipo
- requiere un software determinado para analizar los datos
- no presenta una precisión adecuada en los surcos y fosas, debido a que en objetos oscuros o grandes ángulos el escáner no es capaz de leerlo
- se deben evitar materiales transparentes, reflectivos, difusivos o negros, porque es difícil adquirir los datos de estos objetos. De todas formas, se soluciona aplicando una capa fina un material que sea mate y que contenga óxido de titanio o aerosoles micropigmentantes.

## 2) Mecánicos:

En cuanto a los escáneres mecánicos, también llamados de contacto, obtenemos el modelo digital mediante la exploración de la superficie del objeto a través del contacto físico, mientras el modelo es sujetado por un soporte. Un ejemplo de este tipo de escáner es Procera Forte, de Nobel Biocare®. El Dr. Andersson desarrolló el sistema de Procera® (primer escáner mecánico) alrededor del año 1980 (Figura 17). Su método de funcionamiento es mediante un brazo articulado que acaba en una bola palpadora (sonda de lectura) de pequeño tamaño que va haciendo círculos por el exterior del modelo, registrando muchas veces por segundo la posición del palpador. Cada posición registrada se traduce en unas coordenadas del punto en cuestión que se está midiendo (18).



Figura 47: Procera Forte (Renishaw plc., Londres, UK)

El escáner no puede leer los ángulos agudos, de modo que las terminaciones marginales, como el hombro recto, quedan totalmente descartadas (la terminación debe ser en chamfer aplanado). Por otro lado, es imprescindible biselar los ángulos vivos que se forman entre las caras axiales y la cara oclusal o incisal de los dientes tallados. También es necesario pulir perfectamente la preparación para que no haya errores en la lectura del escáner (18).

*Las ventajas que presentan estos escáneres son:*

- no se ven influenciados por las características ópticas de la superficie que escanean, por lo que no les afectan los brillos de la superficie. No es necesario colocar ningún spray a la superficie del modelo para eliminar los reflejos de luz.
- es económico, en comparación con los ópticos
- fácil de manejar
- tiempo de escaneo: 5 minutos en total (modelo superior e inferior)

En cuanto a las desventajas:

- es difícil medir los materiales suaves y flexibles debido a que se puede modificar la superficie o producir la deformación del objeto por el contacto entre ambos
- no puede medir zonas retentivas de menos de 2,5mm. de ancho y 0,5mm. de profundidad
- requiere mayor tiempo de escaneado respecto a los escáneres ópticos, tanto láser como de luz visible.

### ANEXO 3: Clasificación de de fases de prototipado (CAM)

#### 1) Técnicas aditivas:

Son aquellas en las que el material se va añadiendo poco a poco, hasta formar la estructura final diseñada. Dentro de este grupo han aparecido tres opciones (19):

- a. Deposición de material fundido: Un cabezal de impresión va depositando material fundido, ya sea plástico o metal, en forma de filamento. La pieza se produce por la superposición de capas del material que endurece inmediatamente al ser depositado (Figura 18).

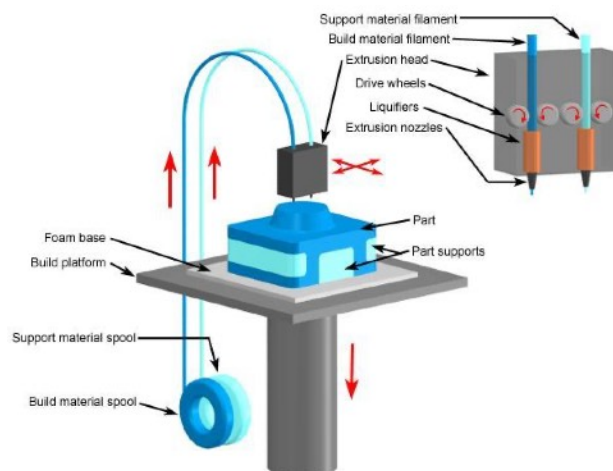


Figura 48: Representación gráfica del funcionamiento de una impresora con sistema de deposición de material fundido.

- b. Agregación de material granular: Se va fundiendo de forma selectiva, capa a capa, un sustrato de material que está en forma granular. Al fundirse las partículas quedan unidas.

El material granular se utiliza mediante los siguientes sistemas:

- **Sinterización láser (SLS).** Las impresoras SLS usan un láser CO<sub>2</sub> para crear el calor necesario para el sinterizado (Figura 19). Puede ser de metales o plásticos.

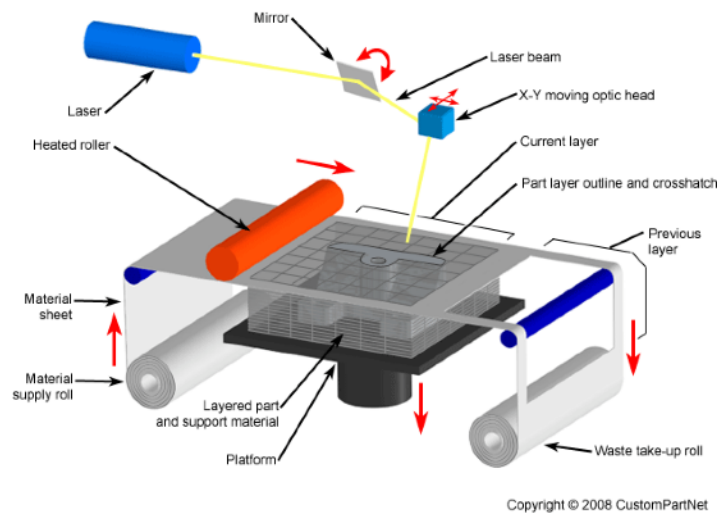


Figura 49: Representación gráfica del funcionamiento de una impresora con sistema de sinterización láser (SLS)

- **Fundición por haz de electrones (EBM).** Las impresoras EBM utilizan haces de electrones de alta energía para inducir la fusión entre las partículas del polvo (Figura 20). Suelen ser usadas en aplicaciones donde se requieren piezas de metal, como por ejemplo la fabricación de coronas y puentes dentales, partes del cuerpo a medida del paciente, partes de vehículos y partes de aviones.

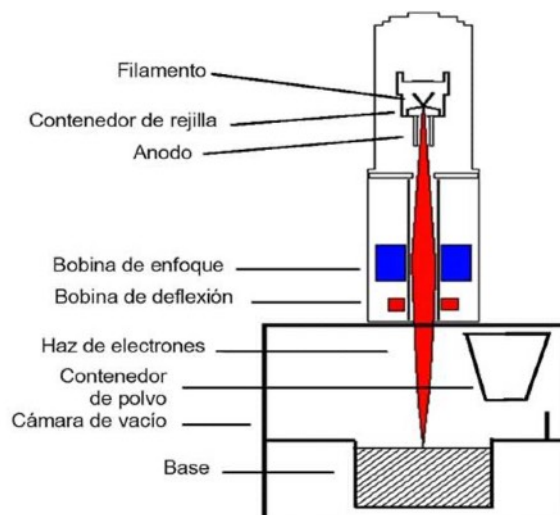


Figura 50: Representación gráfica del funcionamiento de una impresora con sistema de fundición por haz de electrones (EBM)

- **Impresora 3D de Inyección Aglutinante (BJ).** Estas Impresoras 3D depositan gotas de material aglutinante sobre capas de polvo haciendo que las partículas de dicho polvo se unan formando la pieza sólida. Las capas de polvo son

depositadas sobre la cama de fabricación de forma similar a las impresoras de fusión de polvo, usando una paleta esparcidora. En este caso, la unión de las partículas se logra gracias al agente aglutinante que suele ser depositado con un extrusor en movimiento sobre el área de impresión. Una vez que la capa es creada, la cama de impresión se mueve hacia abajo para permitir la impresión de la siguiente capa (Figura 21).

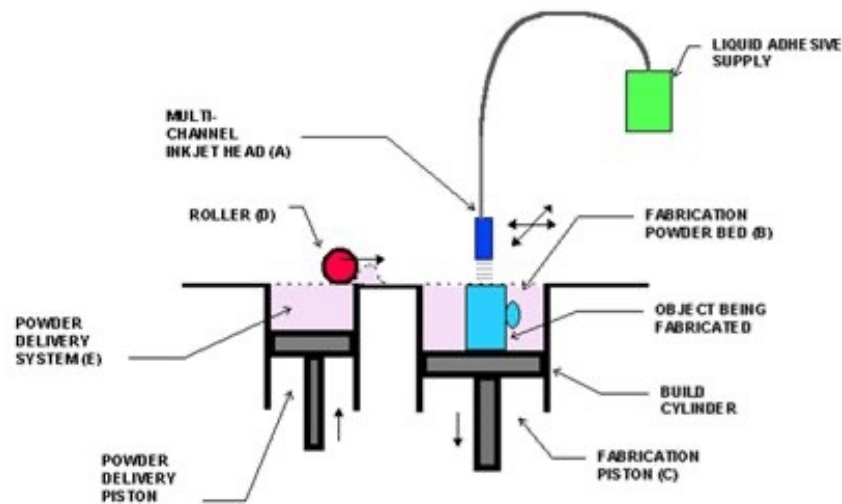


Figura 51: Representación gráfica del funcionamiento de una impresora con sistema de Inyección Aglutinante (BJ).

- c. Fotopolimerización: A este tipo de impresión 3D se la denomina estereolitografía. La Estereolitografía es un sistema de prototipado rápido con el que, mediante el procesamiento de los datos obtenidos mediante escáneres intra y extraorales, tomografías axiales computadas (TAC) o resonancias magnéticas nucleares (RMN) de los pacientes, se pueden obtener modelos en tres dimensiones para su futura manipulación. Para obtener el modelo físico de estos datos, se solidifican resinas de estado líquido mediante la proyección de un haz de láser de una frecuencia y potencia muy concretas o exposiciones a radiación ultravioleta. El proceso de obtención de modelo empieza con el elevador situado a una distancia de la superficie del líquido, igual al grosor de la primera sección a imprimir. El láser sigue la superficie de la sección y su contorno. Una vez solidificada esta sección, el elevador baja su posición para situarse a la altura de la siguiente lámina. Se repite dicha operación hasta conseguir la pieza final (Figura 22). En el campo de la odontología se utiliza con éxito en las

deformaciones dentofaciales, estudios de crecimiento del macizo maxilofacial, implantología, reconstrucciones óseas, dentales y de la Articulación Temporo Mandibular (ATM), malformaciones de cabeza, cara y cuello, cirugías estéticas y maxilofaciales con etiologías patológicas y/o traumáticas. Cabe destacar que las características fisicoquímicas de estos fotopolímeros dependerán del material seleccionado por el fabricante para su elaboración.

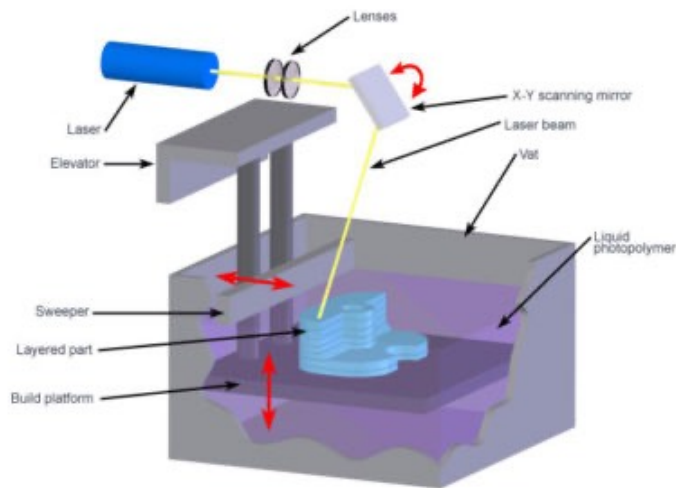


Figura 52 - Representación gráfica del funcionamiento de una impresora con sistema de Estereolitografía (STL)

### 3) Técnicas sustractivas:

Se elimina material de un bloque mediante fresas o láser para obtener la estructura final (19). Dicho proceso de fresado, es llevado a cabo por máquinas de control numérico que presentan diferentes ejes de tallado, en función de la posibilidad de movimientos espaciales que realiza. A mayor número de ejes los resultados de precisión y tiempo empleado son más satisfactorios (Figura 23).



**Figura 53:** Representación gráfica del funcionamiento de una impresora con sistema sustractivo (fresadora)

La calidad de las restauraciones no depende exclusivamente del numero de ejes en los que la maquina pueda procesar el diseño, sino también depende de la digitalización, proceso de la información y producción. Cuando se habla de ejes se hace referencia al sistema cartesiano (X, Y, Z). Teniendo en cuenta este dato se puede clasificar a las fresadoras según el numero de ejes en tres tipos (20):

- Equipos de 3 Ejes: estos se mueven en los tres espacios cartesianos, teniendo la posibilidad de movimientos verticales, horizontales y oblicuos. Giran 180 grados y tienen la ventaja el menor desgaste del equipo y un menor tiempo de procesamiento. Ejemplos de este tipo son InLab (Dentsply Sirona, Bensheim, Alemania) y Lava (3M, St. Paul, EEUU).
- Equipos de 4 Ejes: además de contar con los espacios x, y, z, se le añade la posibilidad que la pieza a trabajar gire sobre uno de estos ejes. Ahorra material y tiempo de procesamiento. Ejemplo de este tipo de equipos son Planmeca Planmill

40S (Planmeca, Helsinki, Finlandia), Cerec MC (Dentsply Sirona, Bensheim, Alemania) y DGshape DWX-4W (Roland DG Corp, Hamamatsu, Japón).

- Equipos de 5 Ejes: posee la capacidad de trabajar con los tres ejes cartesianos, el giro de la pieza sobre uno de estos ejes y además el giro del huso del maquinado, generando otro eje de rotación. Este tipo de equipo da la posibilidad de trabajar con geometrías más complejas con sub-secciones, como estructuras de puentes fijos con varios ponticos, pilares y estructuras anatómicas. Ejemplo de este tipo de equipo es el sistema Kavo Everest (Kavo, Biberach, Alemania).

En general, el tipo de material que se está fresando determina si una fresadora debe ser de fresado seco o húmedo. Ciertos materiales cerámicos como el Disilicato de Litio y las cerámicas Feldespáticas requieren fresados en húmedo, al igual que algunos metales, como el Cobalto-Cromo. Otros materiales, como la Zirconia y el Titanio, pueden ser fresados en seco o en húmedo. En general, la cera, el acrílico (para restauraciones temporarias) y el PMMA (poli-metil-metacrilato) se fresan en seco (21). El líquido en una fresadora húmedo cumple varias funciones: baña continuamente la herramienta de corte y el material de fresado, manteniendo la herramienta y el material fríos, y ayuda a eliminar el material del disco o bloque de fresado. Ciertos aditivos también se pueden incluir en el líquido para actuar como lubricante de corte. Las fresadoras húmedas requieren una limpieza periódica porque el material de descarte del fresado se acumula dentro de la máquina y necesita ser eliminado. El reemplazo del líquido de corte también se recomienda generalmente a intervalos regulares.

La fresadora en seco no utiliza líquido para eliminar el material de desecho de la superficie de corte, sino más bien aire a presión, vacío o una combinación de ambos. Requiere limpieza de mantenimiento, ya que se genera una cantidad considerable de polvo y virutas con la fresadora en seco.

En la Figura 24 se observan diferentes fresadoras, tanto de 3 ejes como de 4 y también si son de trabajo seco o mojado:

|                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| <b>PLANMECA PLANMILL 305</b>                                                      | <b>ROLAND DWX 42W</b>                                                              | <b>ROLAND DWX 51D</b>                                                               |
| Fresadora Húmeda de 4 ejes                                                        | Fresadora Húmeda de 4 ejes                                                         | Fresadora Seca de 5 ejes                                                            |
| Sistema abierto con conexión Wifi                                                 | Sistema abierto                                                                    | Sistema abierto                                                                     |

Figura 54: Cuadro comparativo de impresoras de 4 y 5 ejes de las empresas Roland® y Planmeca®

## ANEXO 4: Esquemas de las mediciones



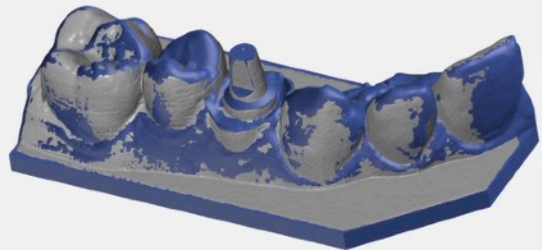
Comparativa  
Maestro CAD –  
Maestros scans  
Maestro Bluecam  
Maestro Dscan  
Maestro Emerald

### Alineación

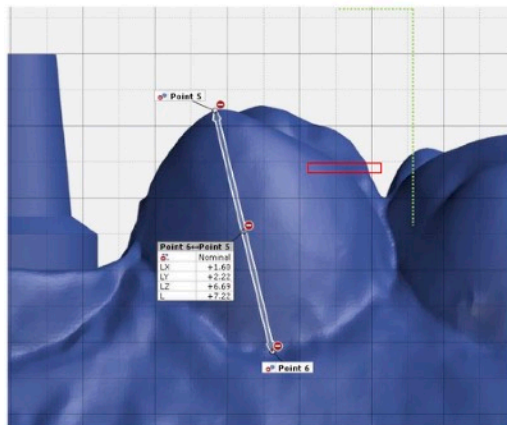
Zona tomada para alineación



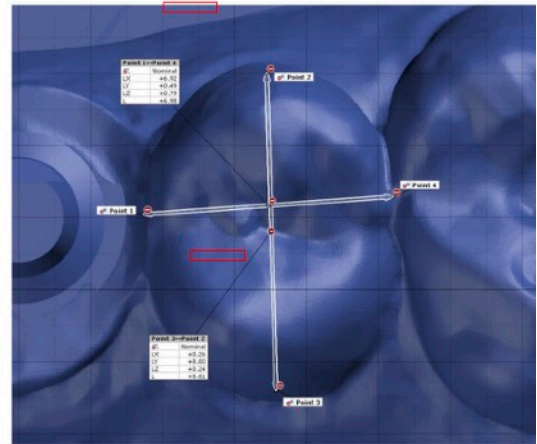
Alineación best fit en zona elegida



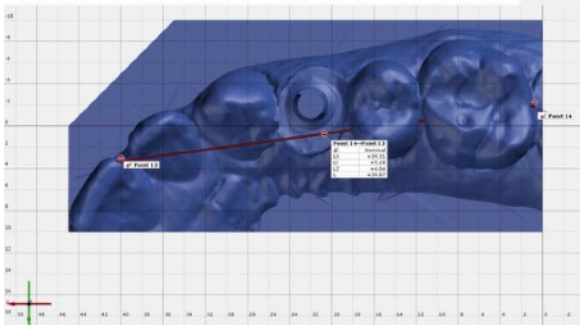
## Mediciones sobre maestro cad



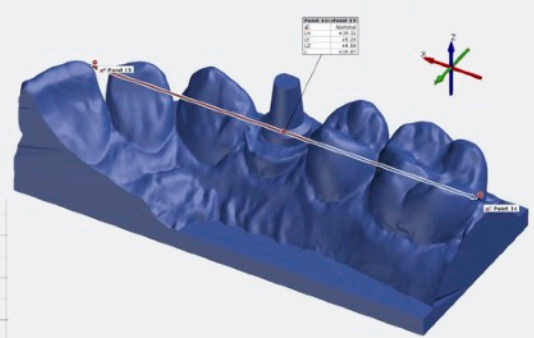
PUNTA  
diseño industrial



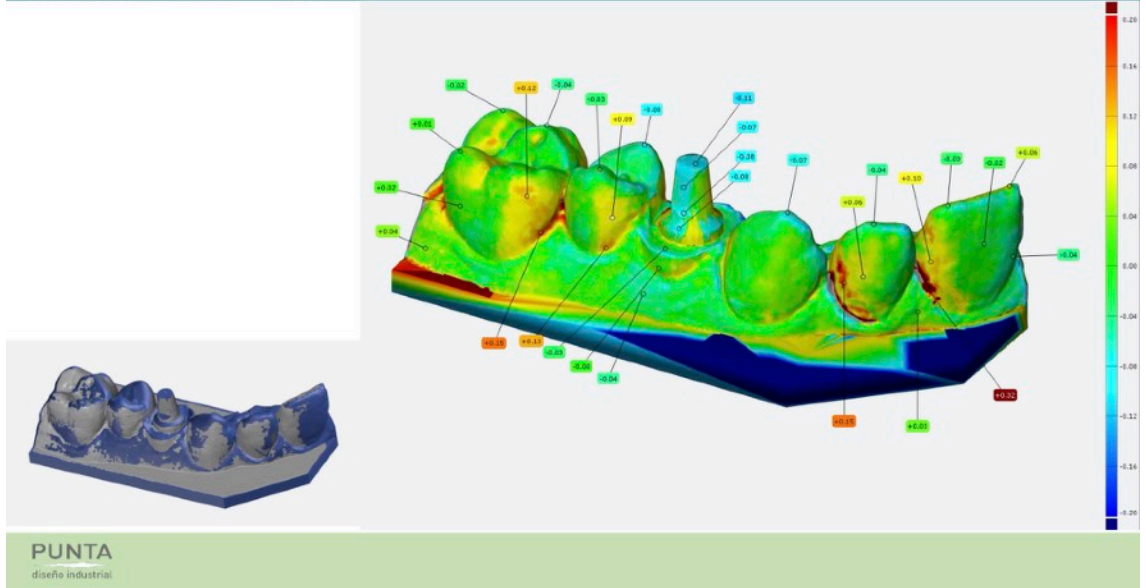
## Mediciones sobre maestro cad



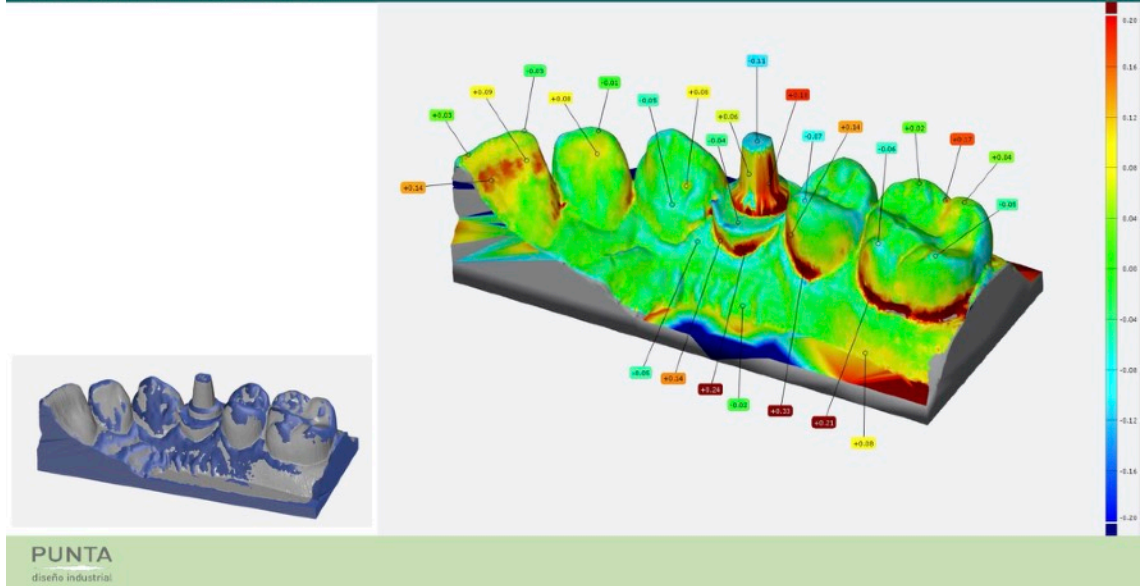
PUNTA  
diseño industrial



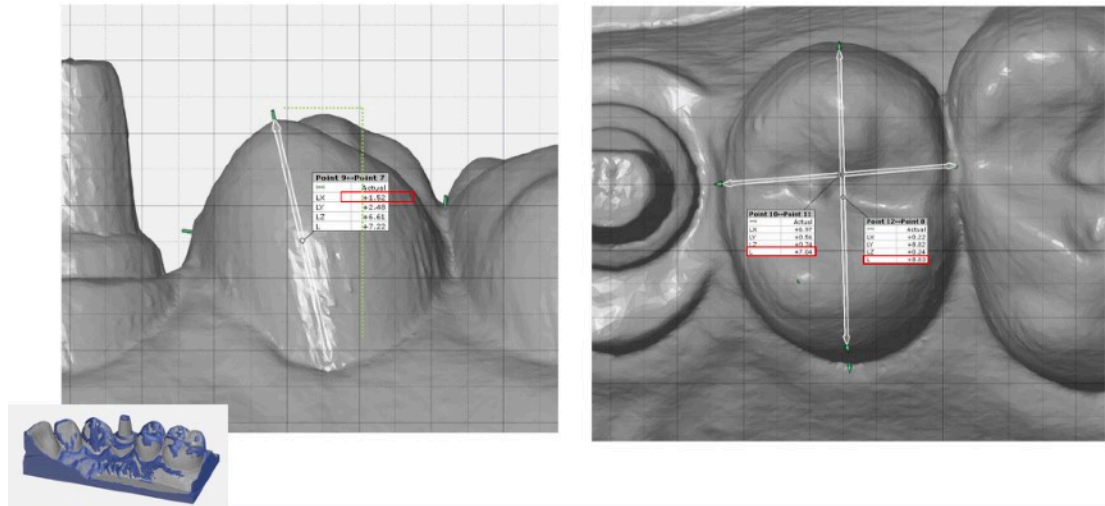
## Maestro Bluecam



## Maestro Bluecam

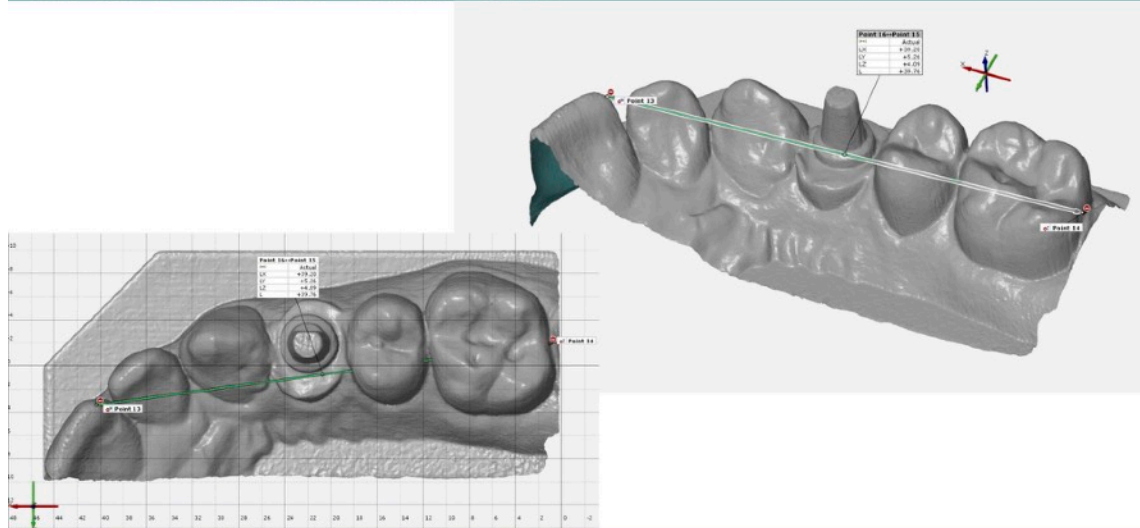


## Maestro Bluecam - Mediciones



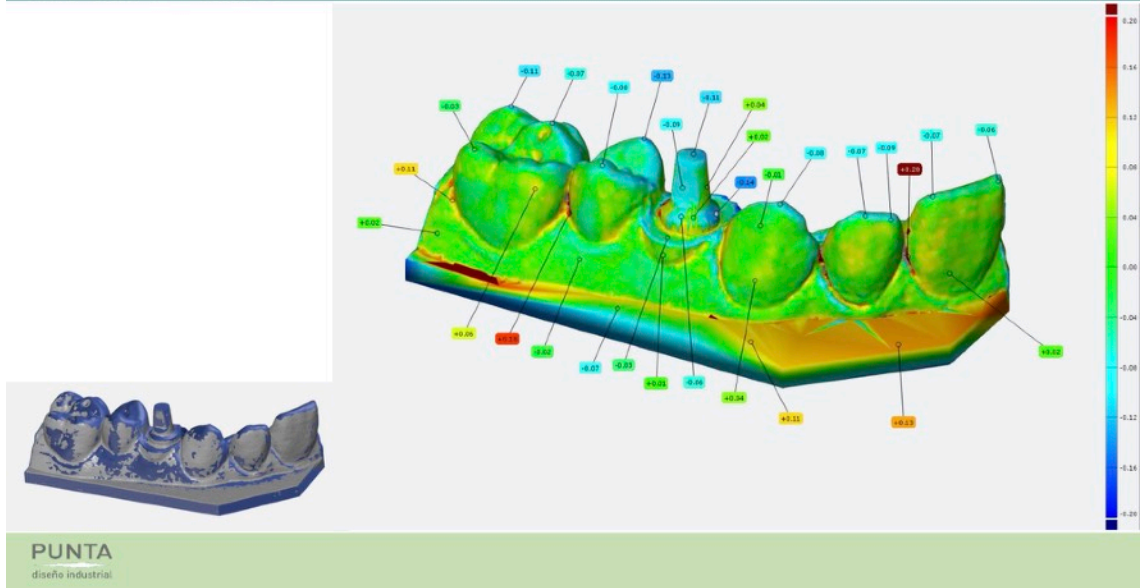
PUNTA  
diseño industrial

## Maestro Bluecam - Mediciones

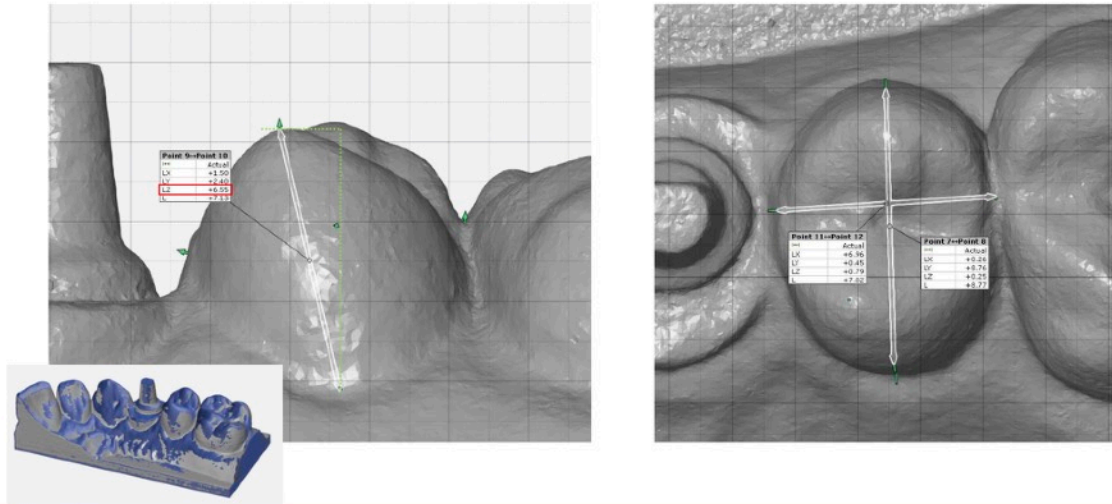


PUNTA  
diseño industrial

## Maestro Dscan

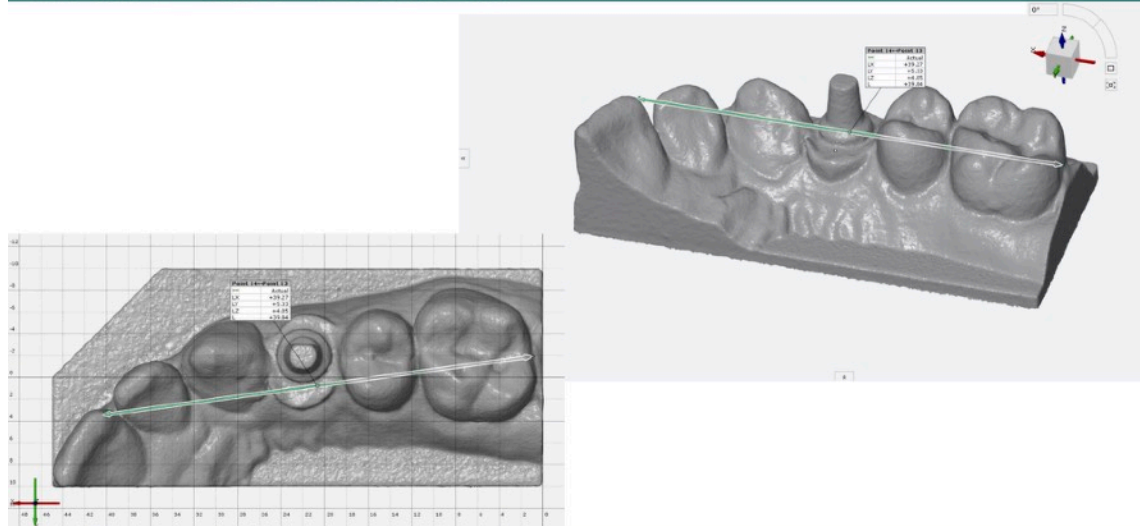


## Maestro Dscan - Mediciones



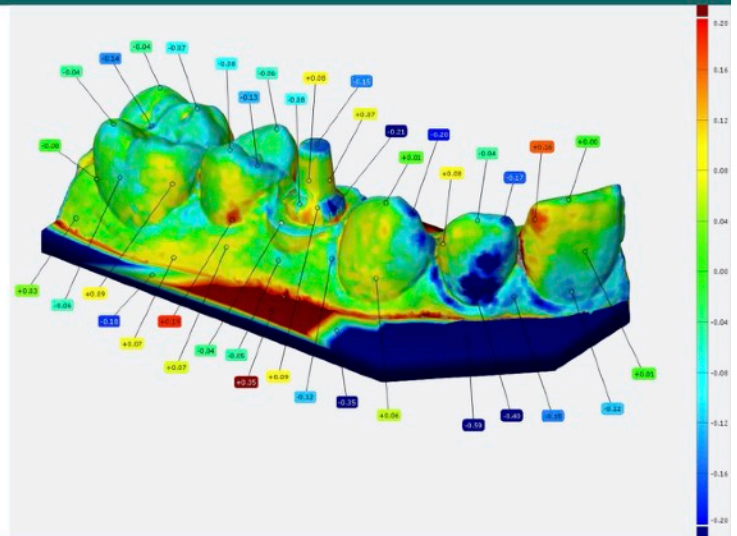
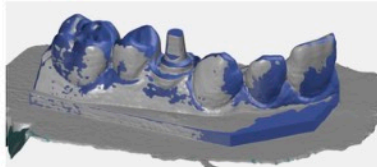
PUNTA  
diseño industrial

## Maestro Dscan - Mediciones



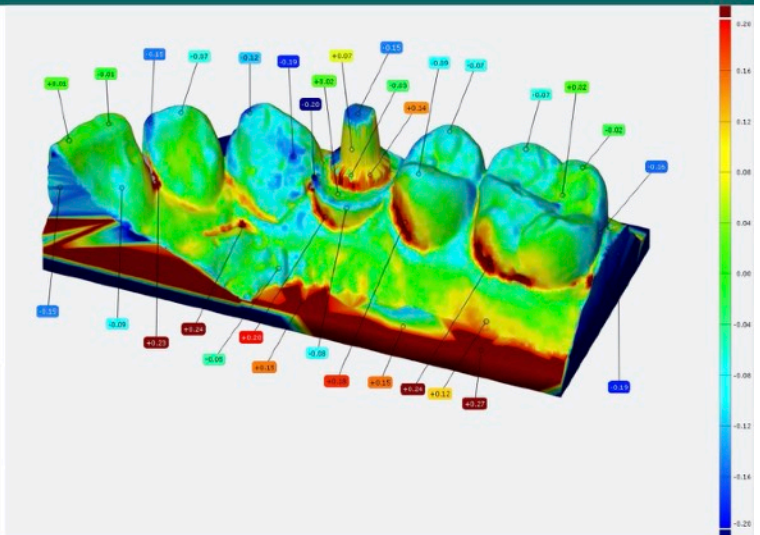
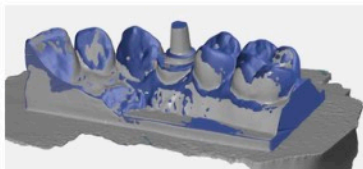
PUNTA  
diseño industrial

## Maestro Emerald



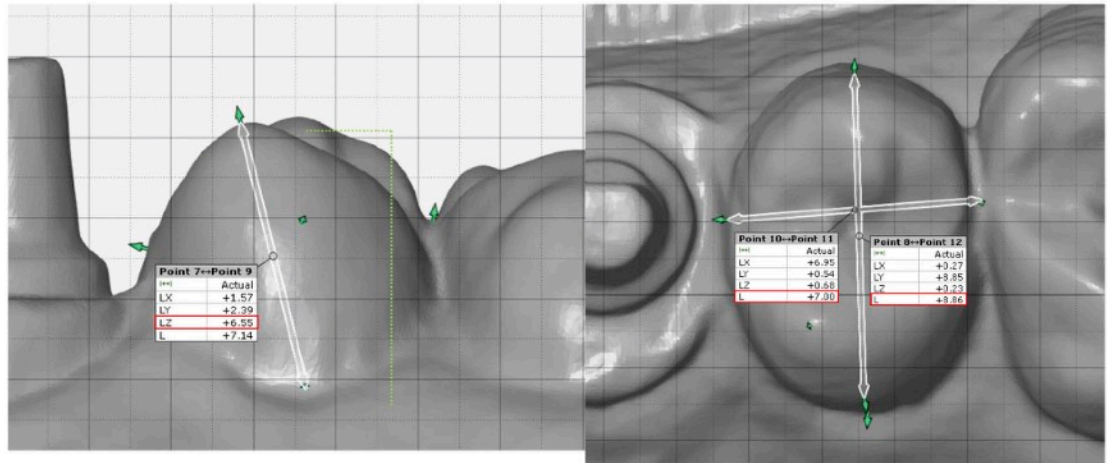
PUNTA  
diseño industrial

## Maestro Emerald



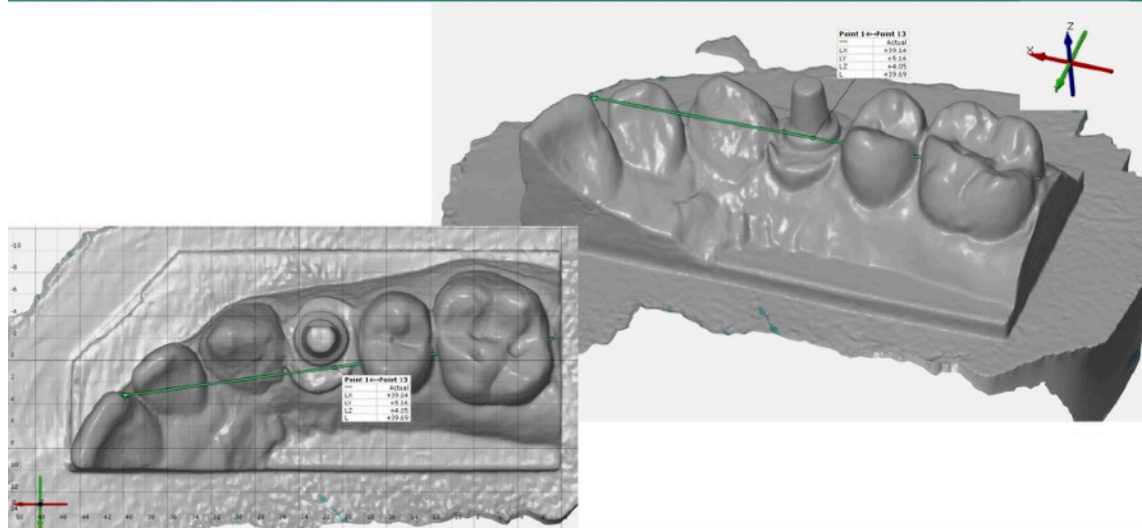
PUNTA  
diseño industrial

## Maestro Emerald



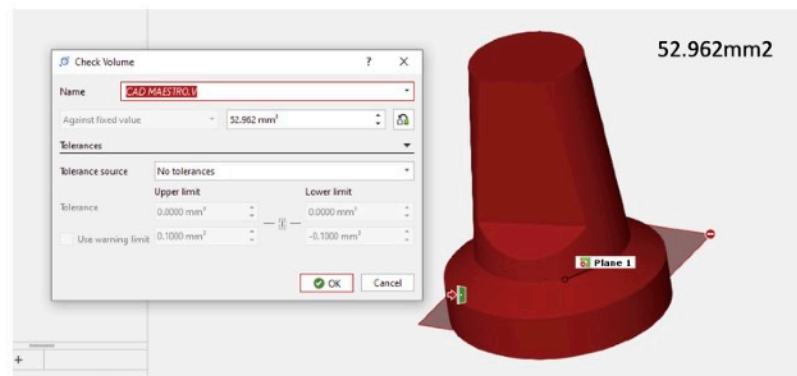
PUNTA  
diseño industrial

## Maestro Emerald



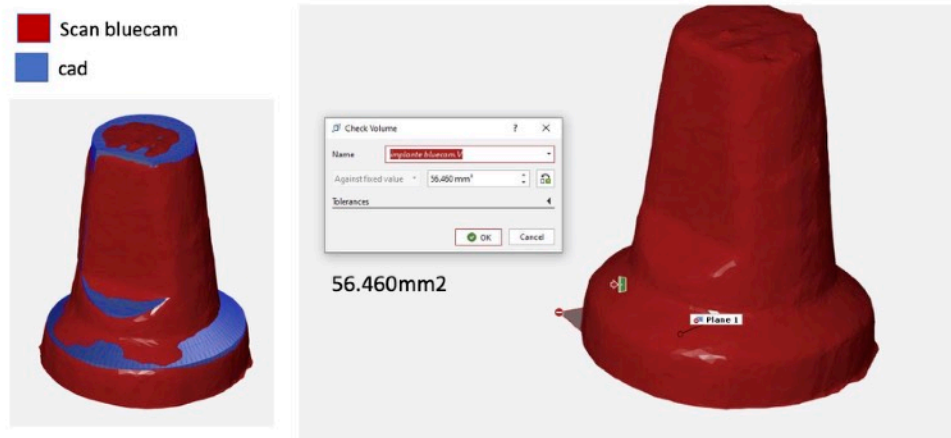
PUNTA  
diseño industrial

## Maestro CAD – Volumen inserto



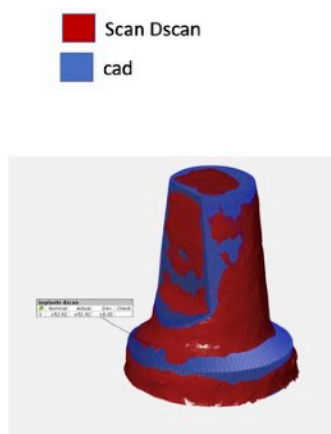
PUNTA  
diseño industrial

## Bluecam – Volumen inserto



PUNTA  
diseño industrial

## Dscan - Volumen inserto



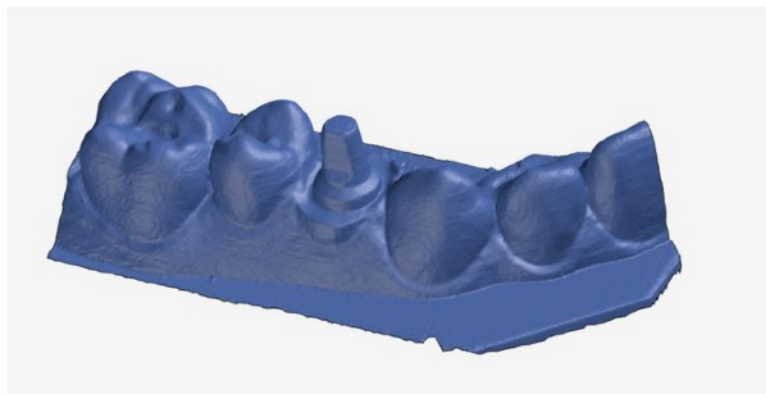
PUNTA  
diseño industrial

## Emerald - Volumen inserto



PUNTA  
diseño industrial

Referencia: Bluecam1\_UpperJaw

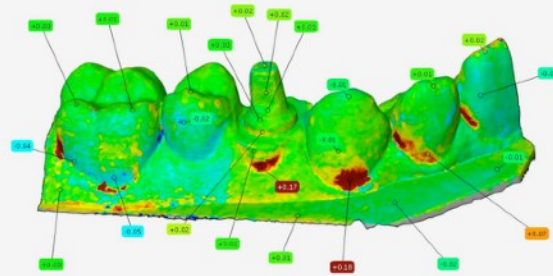
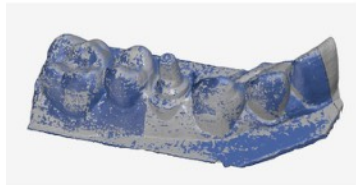


# Comparativa Bluecam2\_UpperJaw

# Comparativa Bluecam2\_UpperJaw

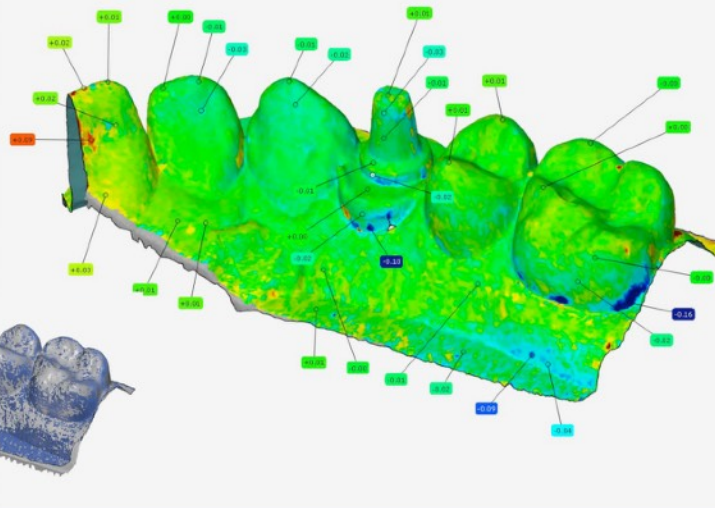
PUNTA  
diseño industrial

## Comparativa Bluecam3\_UpperJaw



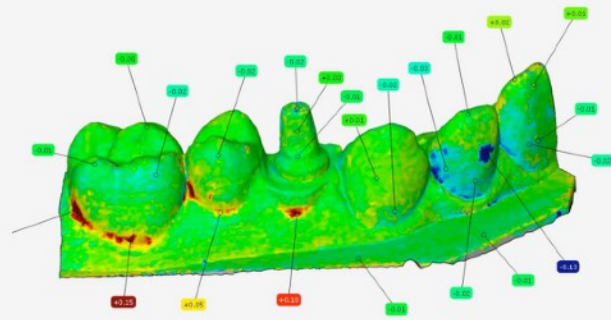
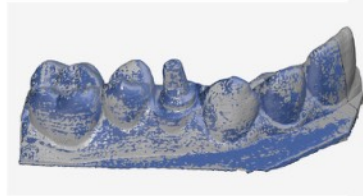
PUNTA  
diseño industrial

## Comparativa Bluecam3\_UpperJaw



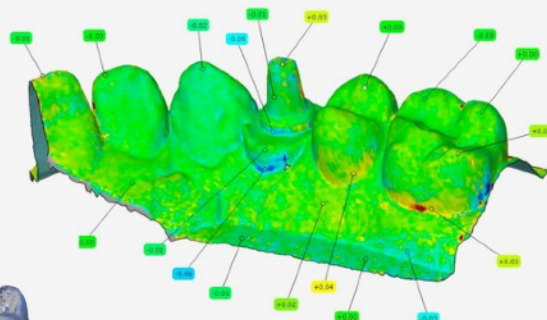
PUNTA  
diseño industrial

## Comparativa Bluecam4\_UpperJaw



PUNTA  
diseño industrial

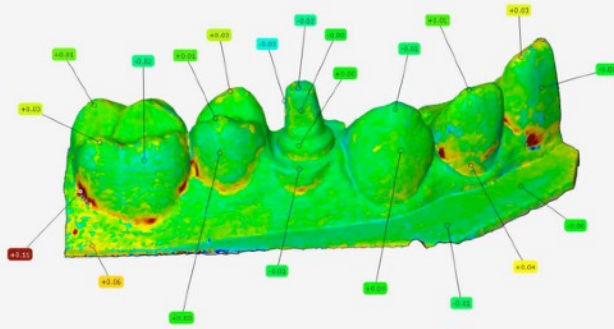
## Comparativa Bluecam4\_UpperJaw



PUNTA  
diseño industrial

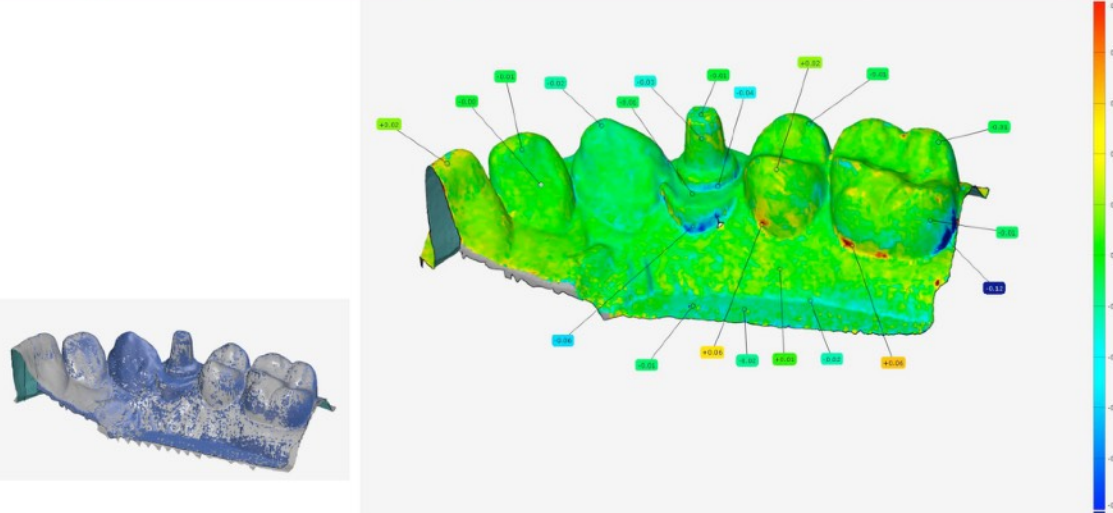
# Comparativa Bluecam5\_UpperJaw

PUNTA  
diseño industrial



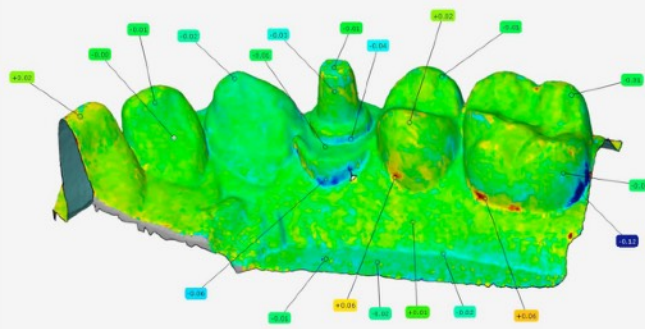
**PUNTA**  
diseño industrial

# Comparativa Bluecam5\_UpperJaw

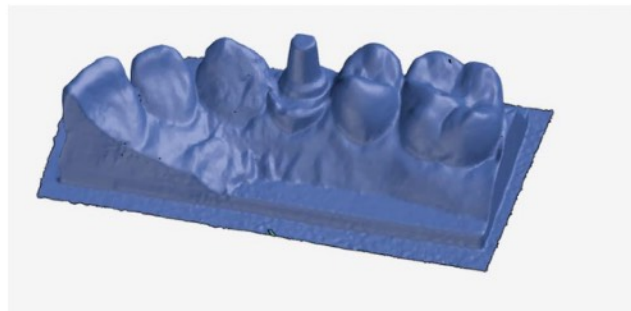


The image displays a 3D surface scan of a human upper jaw (maxilla) using Bluecam5. The scan is color-coded to show depth variations, with a color scale on the right ranging from -0.10 (dark blue) to 0.10 (dark red). The scan shows the teeth and the underlying bone structure. Numerous points are labeled with numerical values, indicating specific measurements or coordinates. The scan is presented in a perspective view, showing the front and side of the jaw.

PUNTA  
diseño Industrial

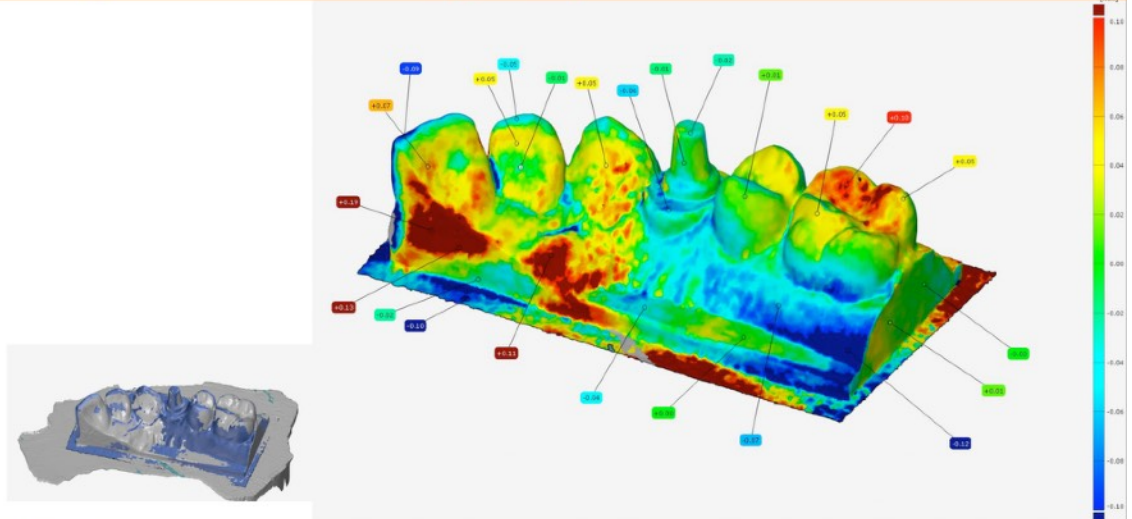


**PUNTA**  
diseño industrial



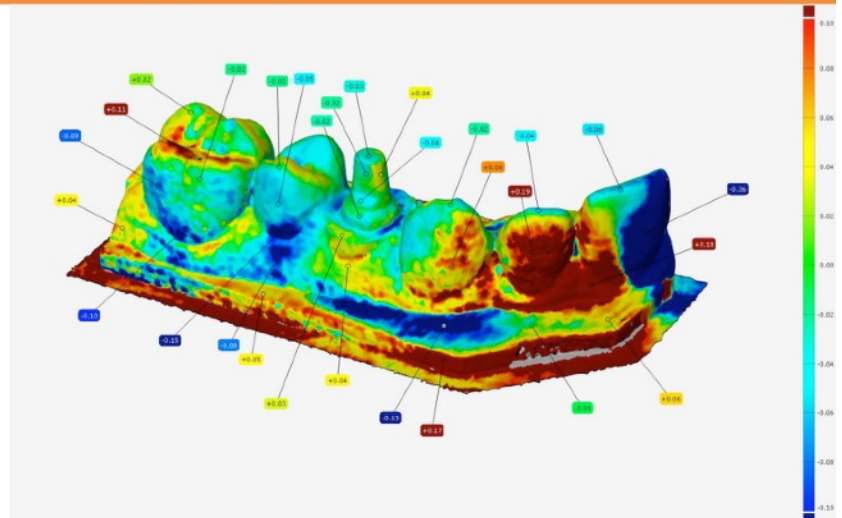
PUNTA  
diseño industrial

## Comparativa Planmeca 10,44 11,04



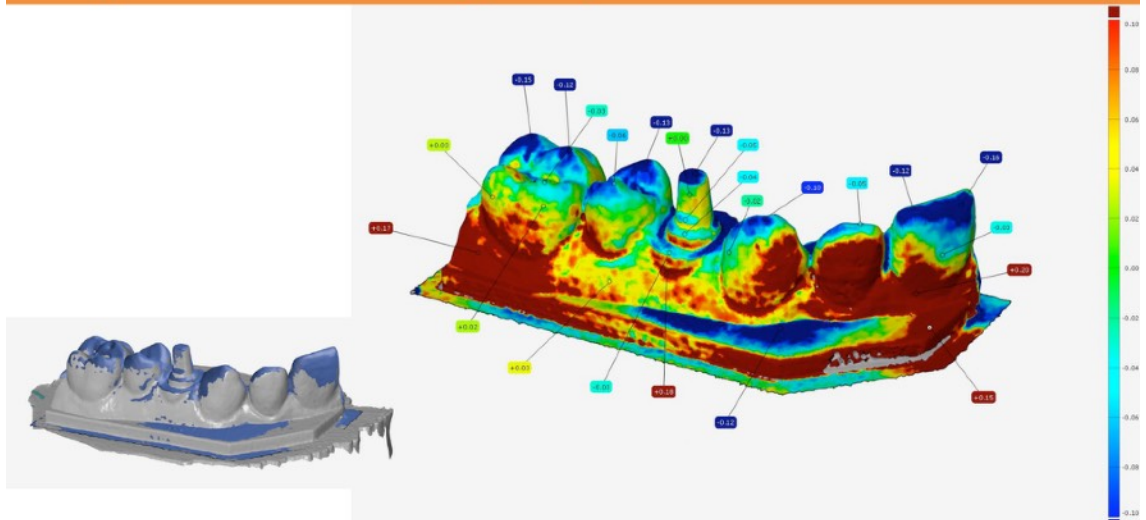
PUNTA  
diseño industrial

## Comparativa Planmeca 10,44 11,04



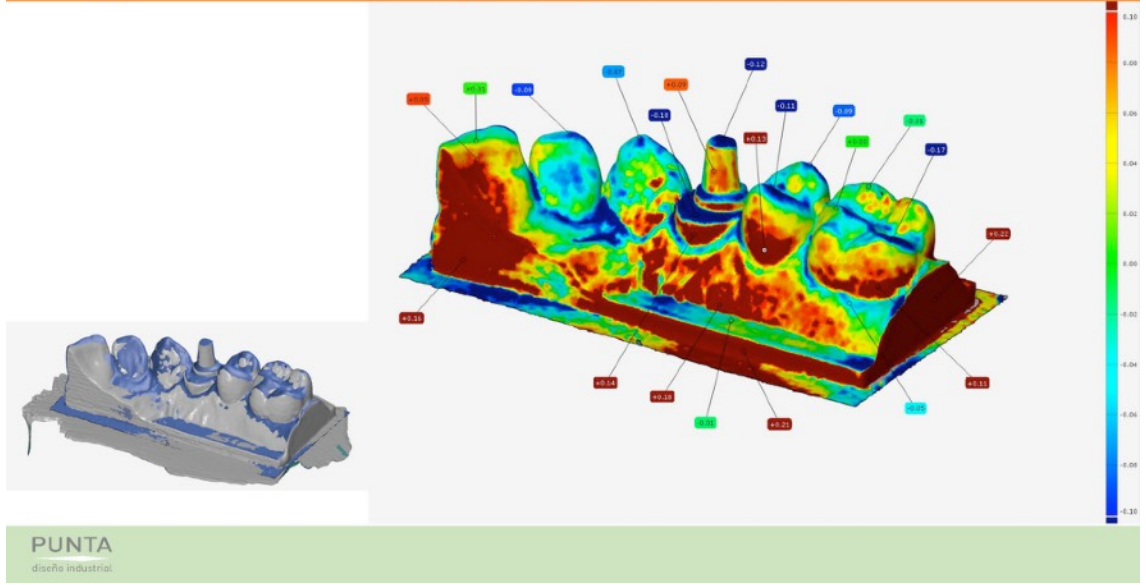
PUNTA  
diseño industrial

## Comparativa Planmeca 10,44 11,21

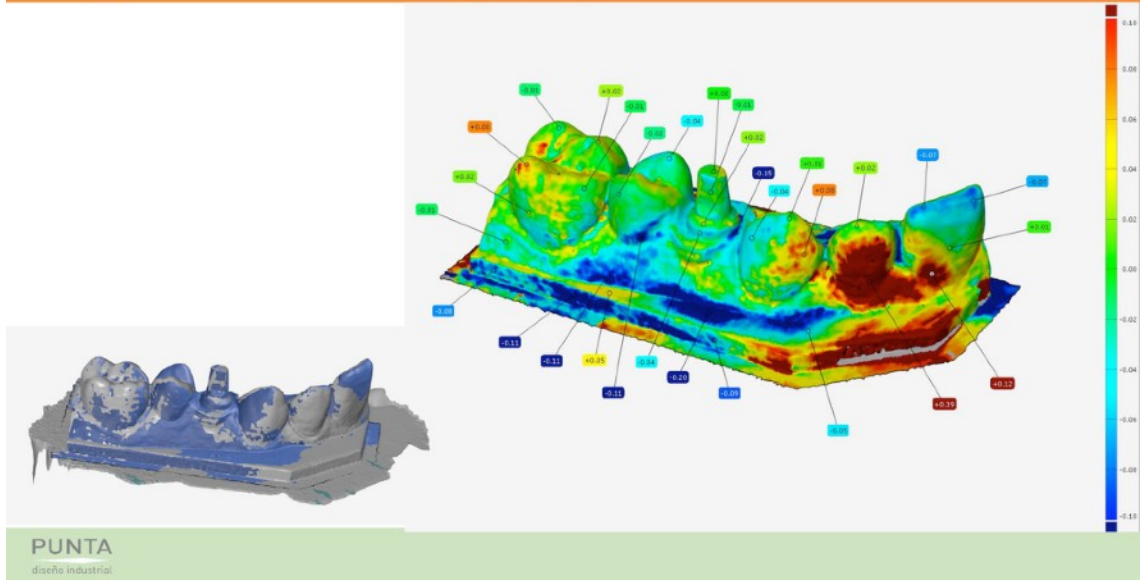


PUNTA  
diseño industrial

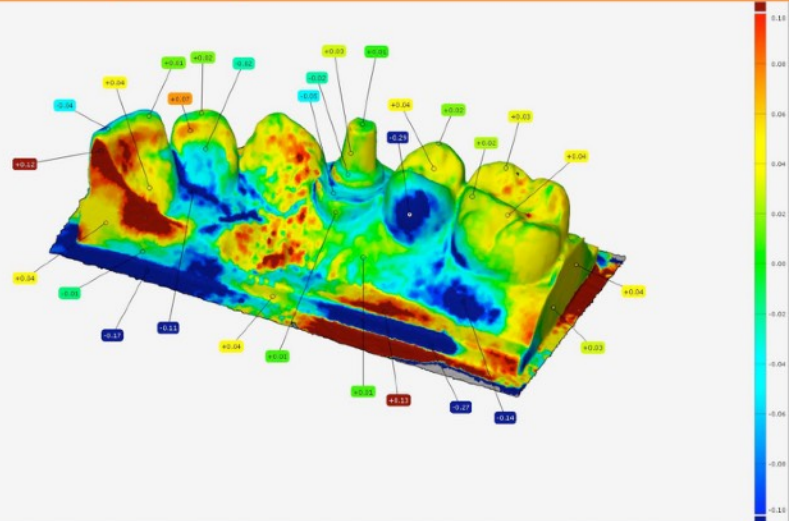
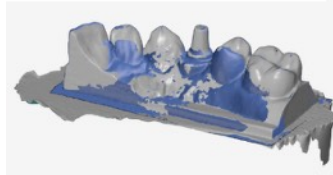
## Comparativa Planmeca 10,44 11,21



## Comparativa Planmeca 10,44 11,19

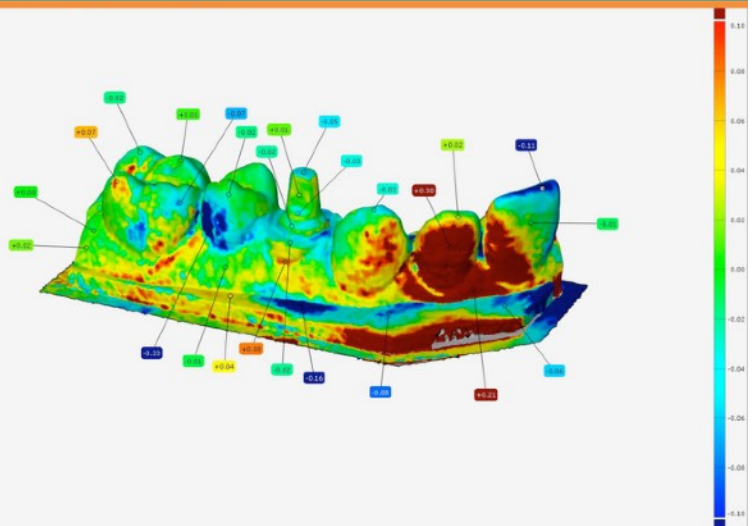
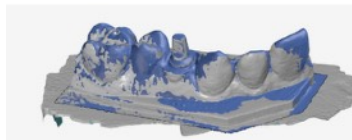


## Comparativa Planmeca 10,44 11,19



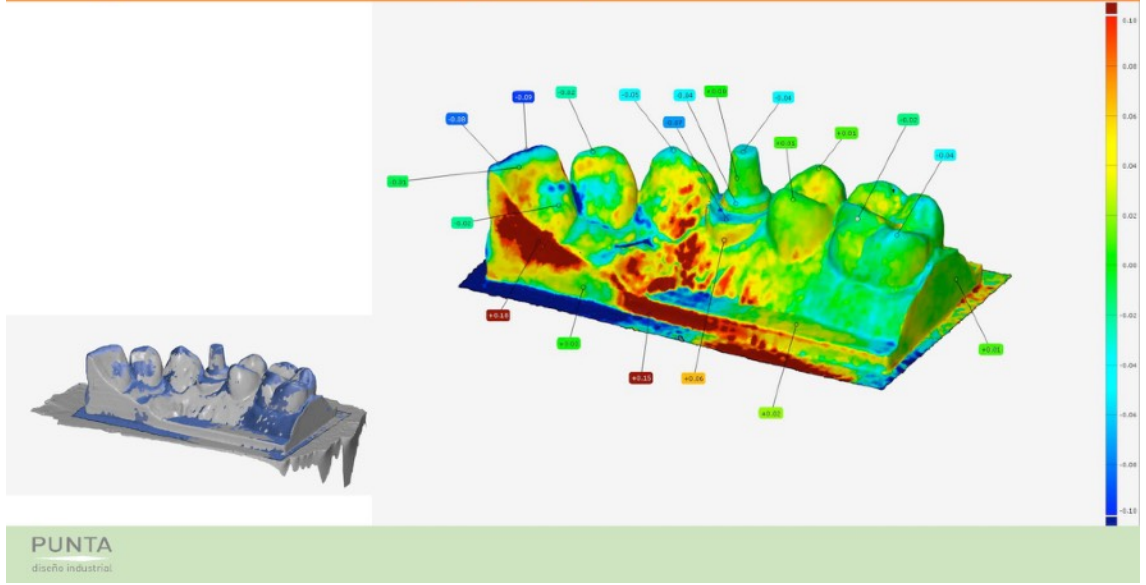
PUNTA  
diseño industrial

## Comparativa Planmeca 10,44 10,51



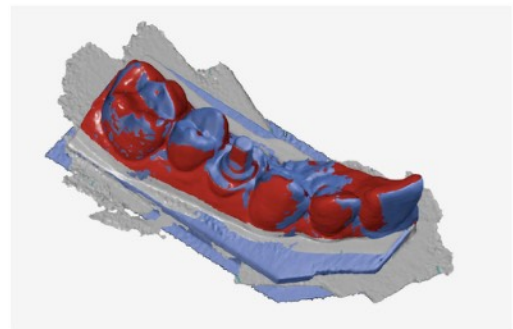
PUNTA  
diseño industrial

## Comparativa Planmeca 10,44 10,51

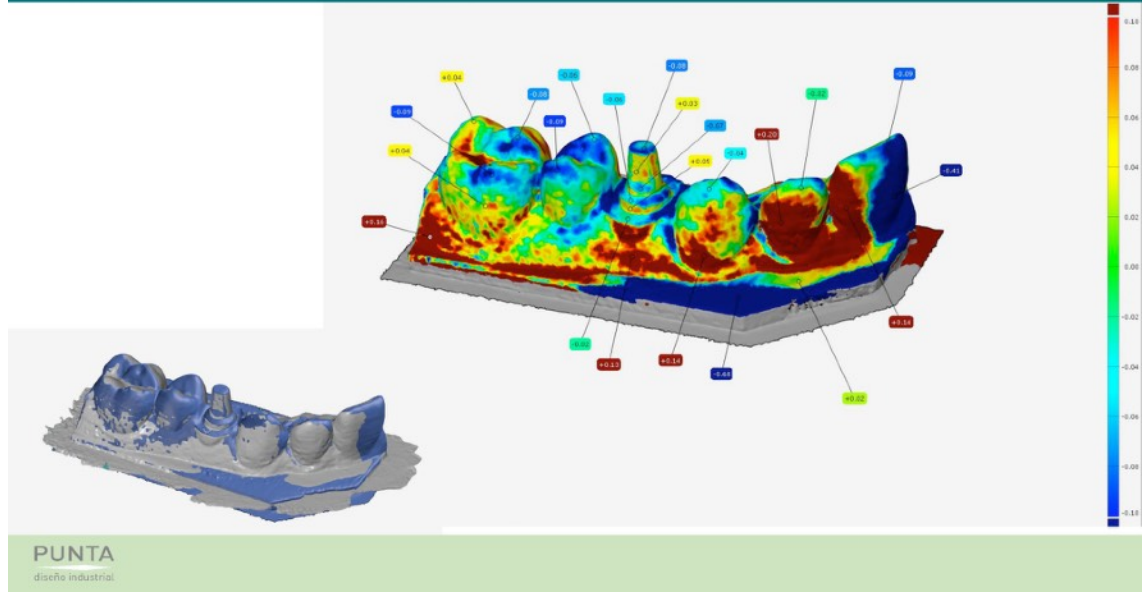


## Alineación general

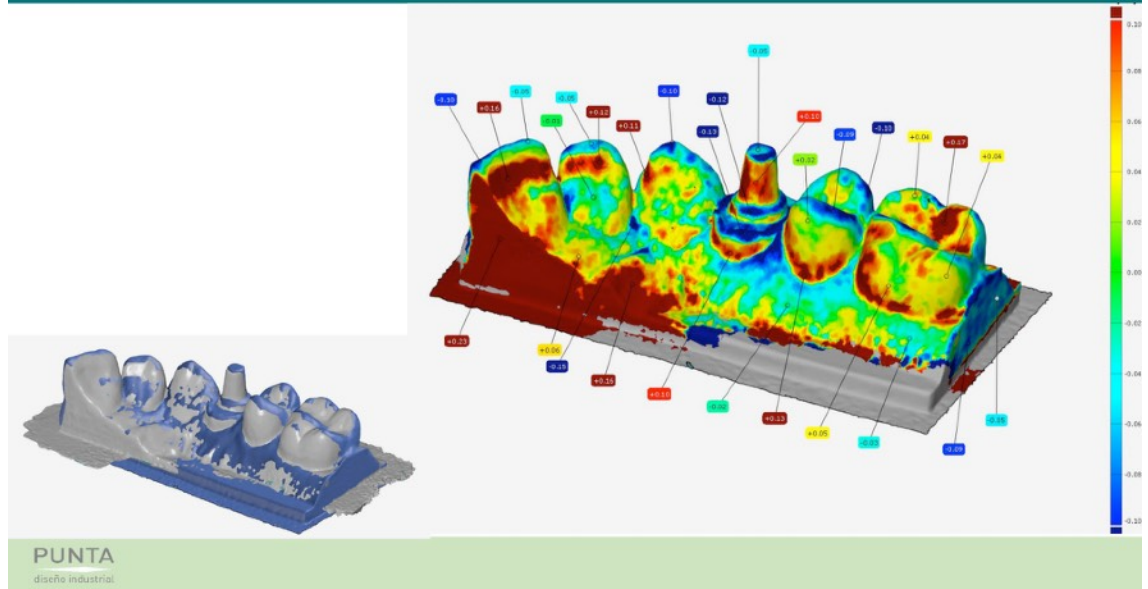
Se toma la zona dental y de encía para realizar la alineación, y descartar errores lejanos del escaneo



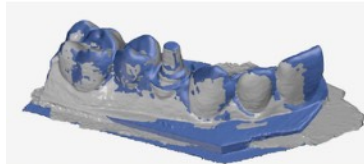
## Planmeca maestro-P.EM1



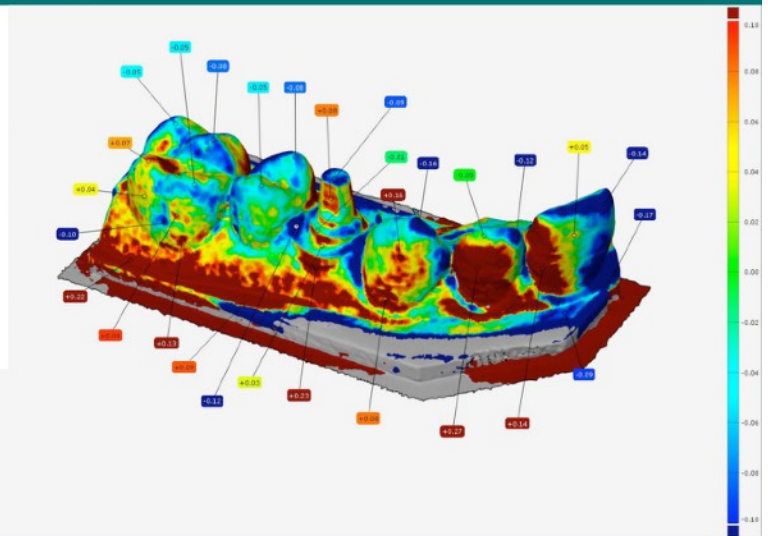
## Planmeca maestro-P.EM1



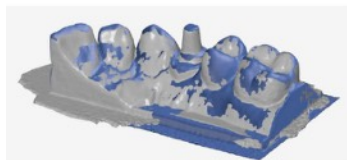
## Planmeca maestro-P.EM2



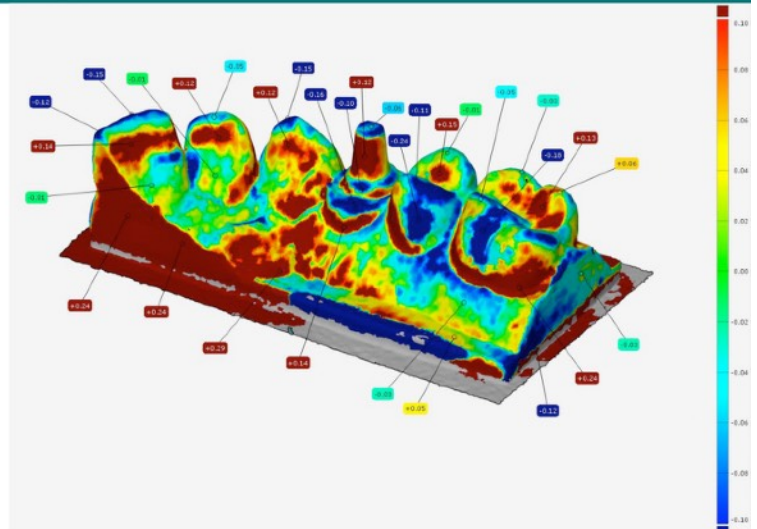
PUNTA  
diseño industrial



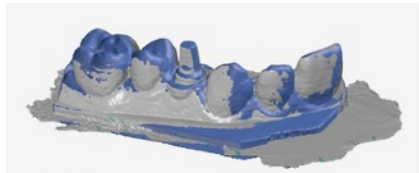
## Planmeca maestro-P.EM2



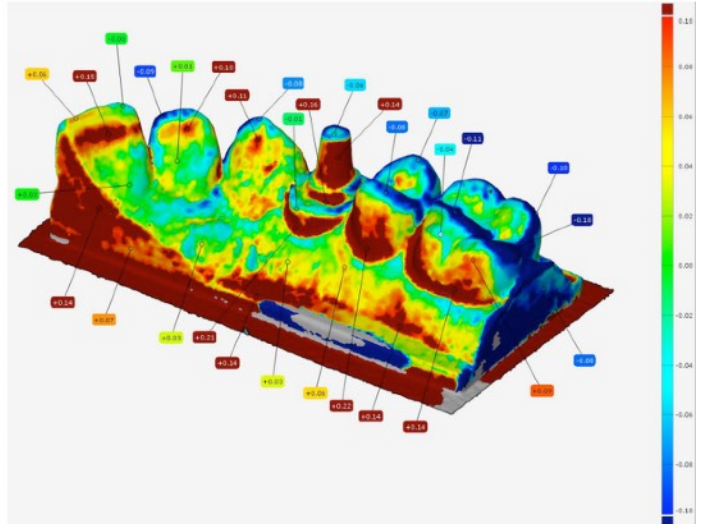
PUNTA  
diseño industrial



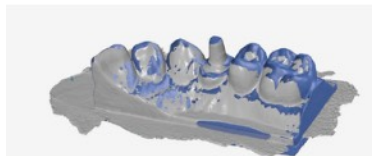
## Planmeca maestro-P.EM3



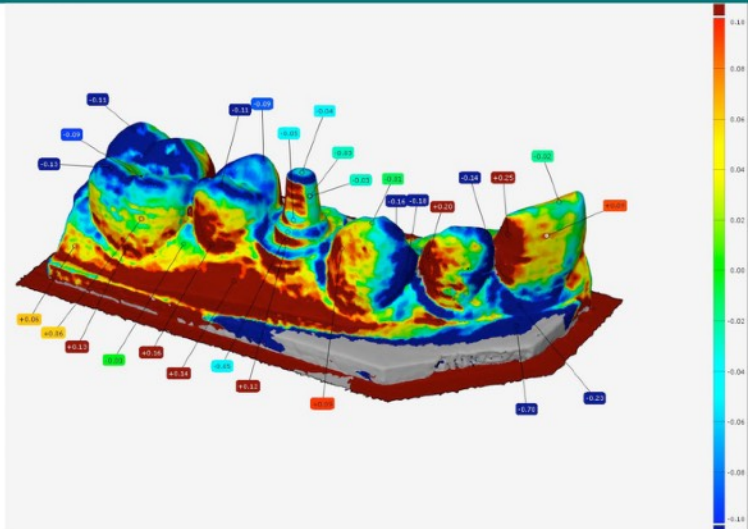
PUNTA  
diseño industrial



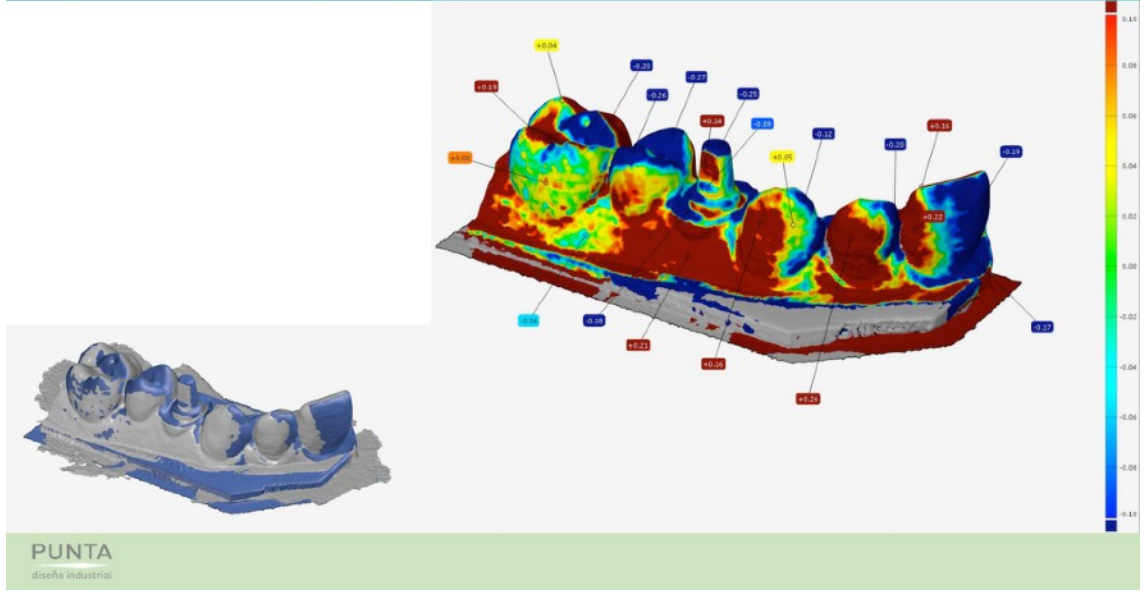
## Planmeca maestro-P.EM3



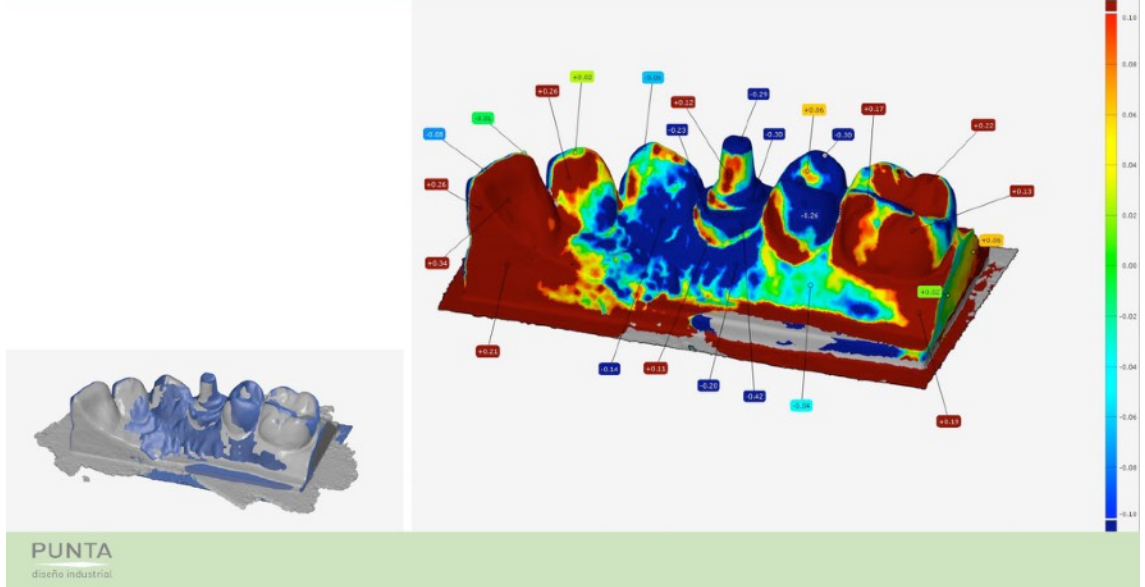
PUNTA  
diseño industrial



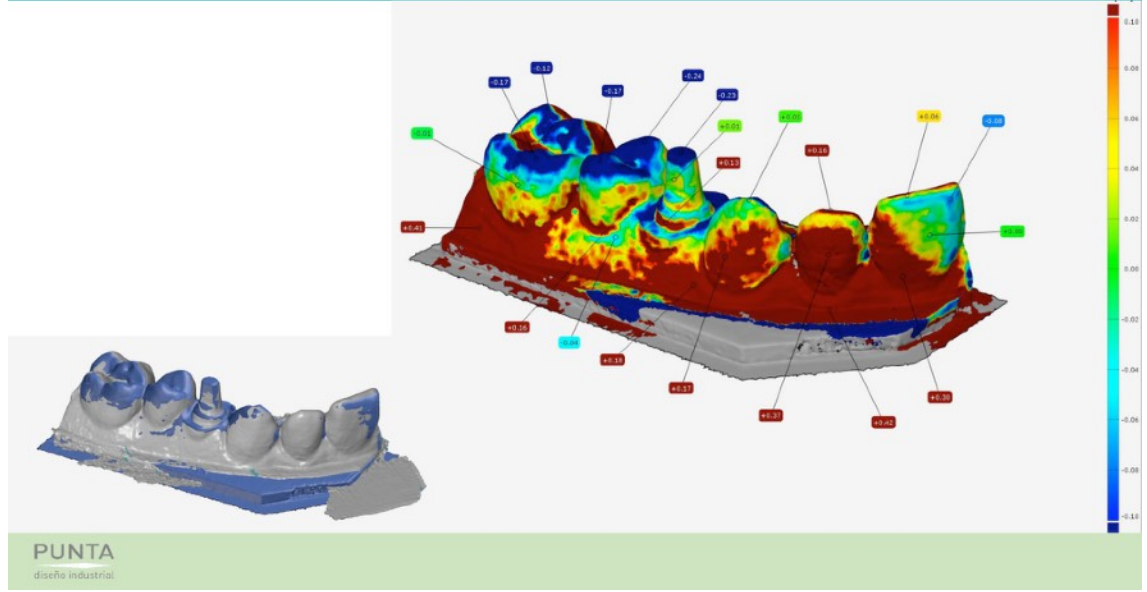
## Planmeca maestro-P.EM4



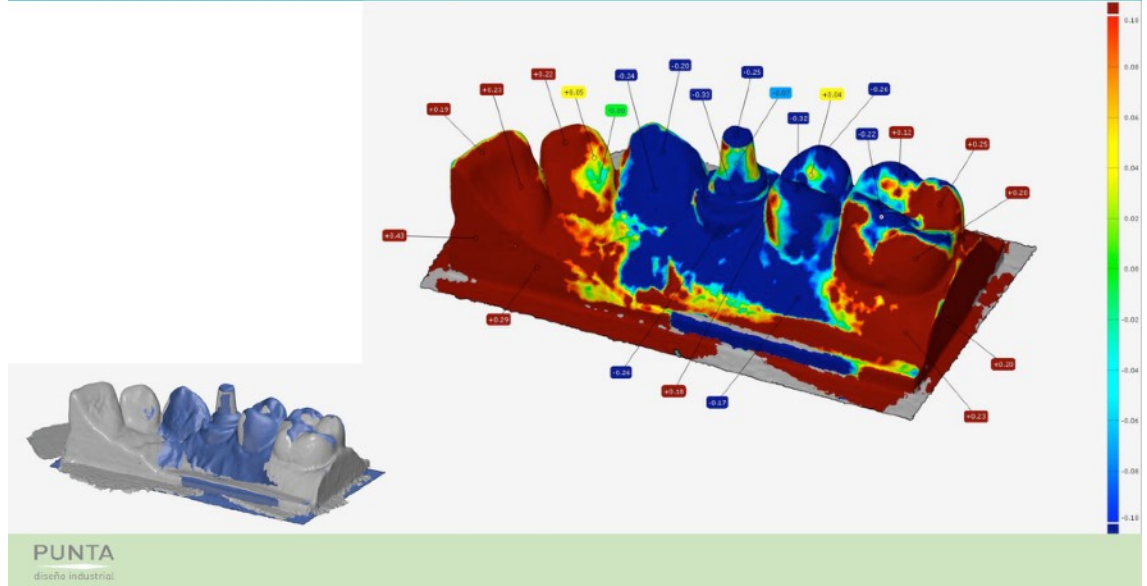
## Planmeca maestro-P.EM4



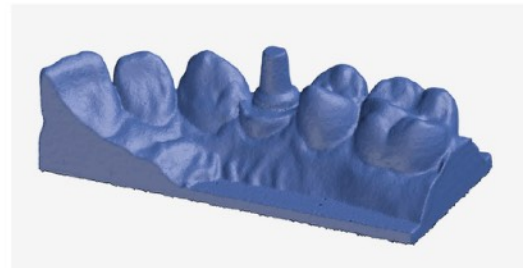
## Planmeca maestro-P.EM5



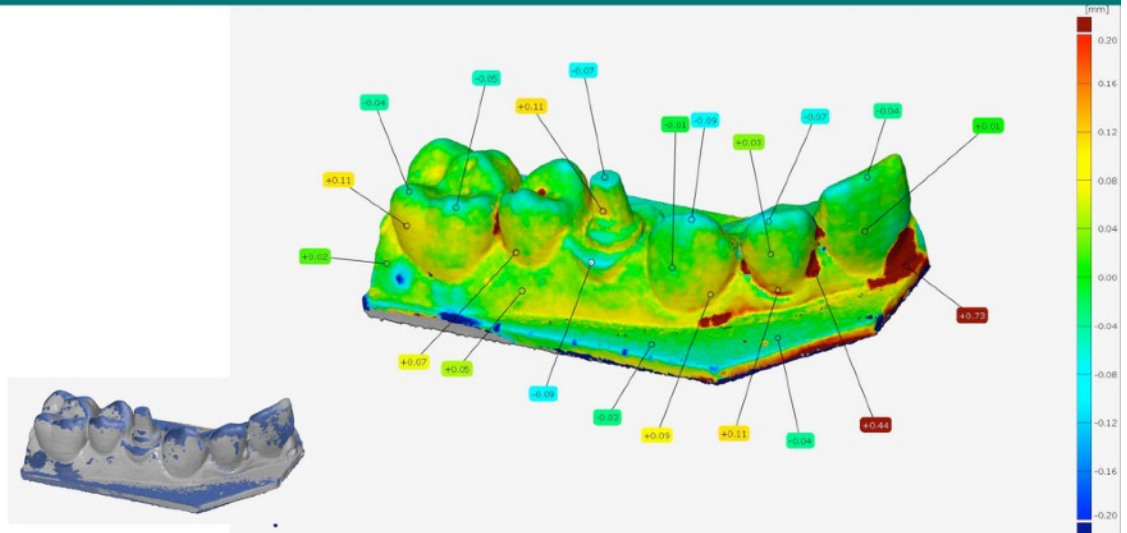
## Planmeca maestro-P.EM5



### Dscan maestro

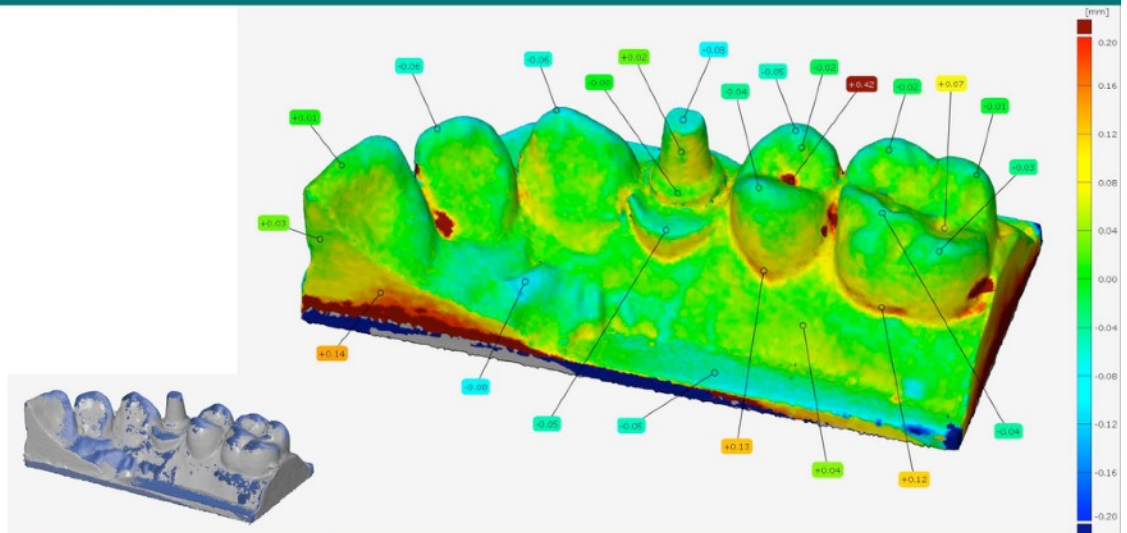


## Dscan AL1



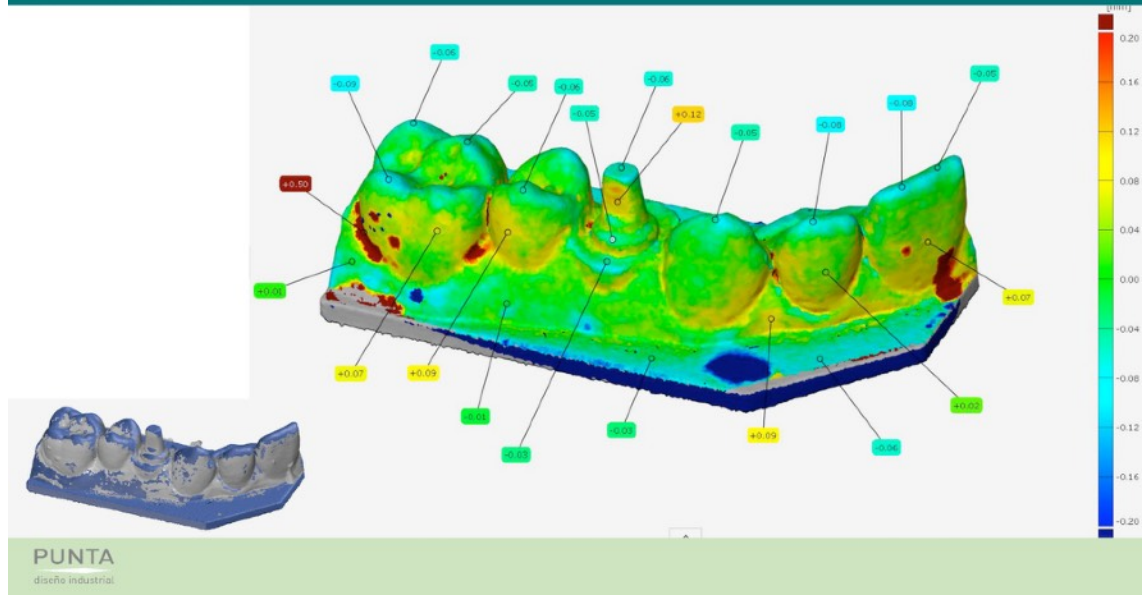
PUNTA  
diseño industrial

## Dscan AL1

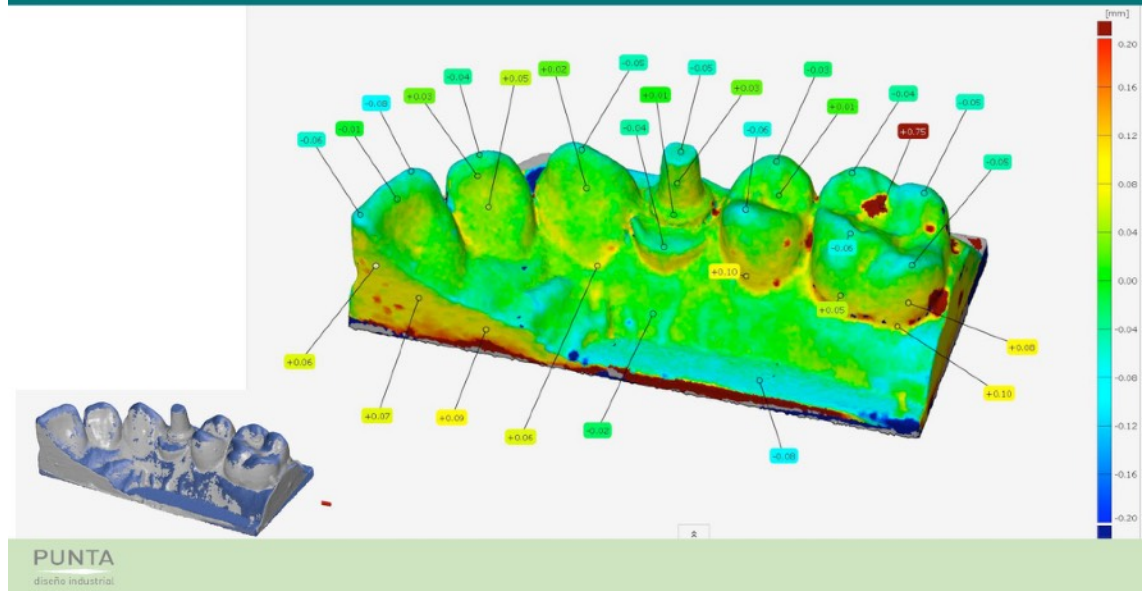


PUNTA  
diseño industrial

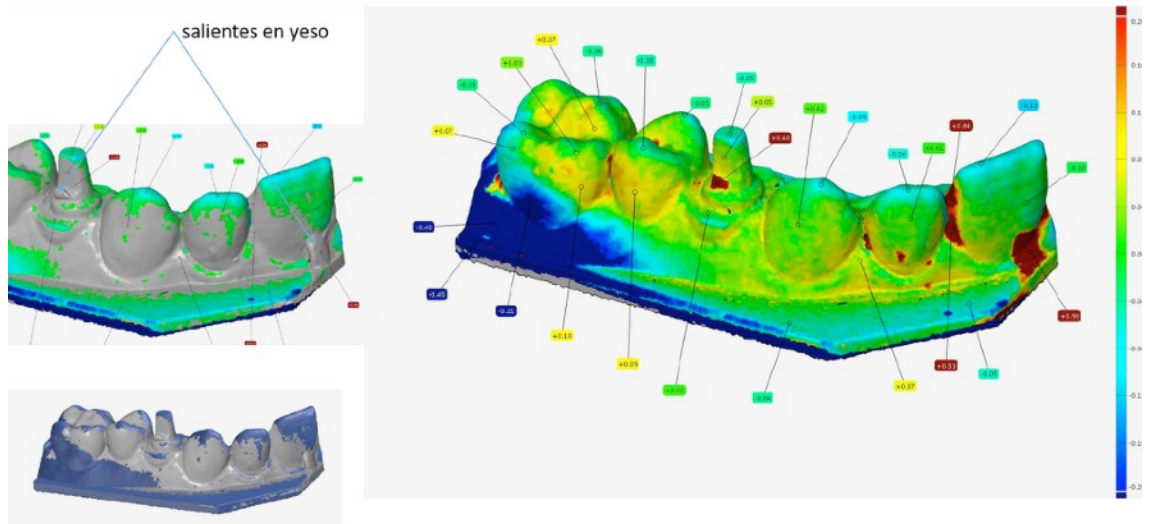
## Dscan AL2



## Dscan AL2

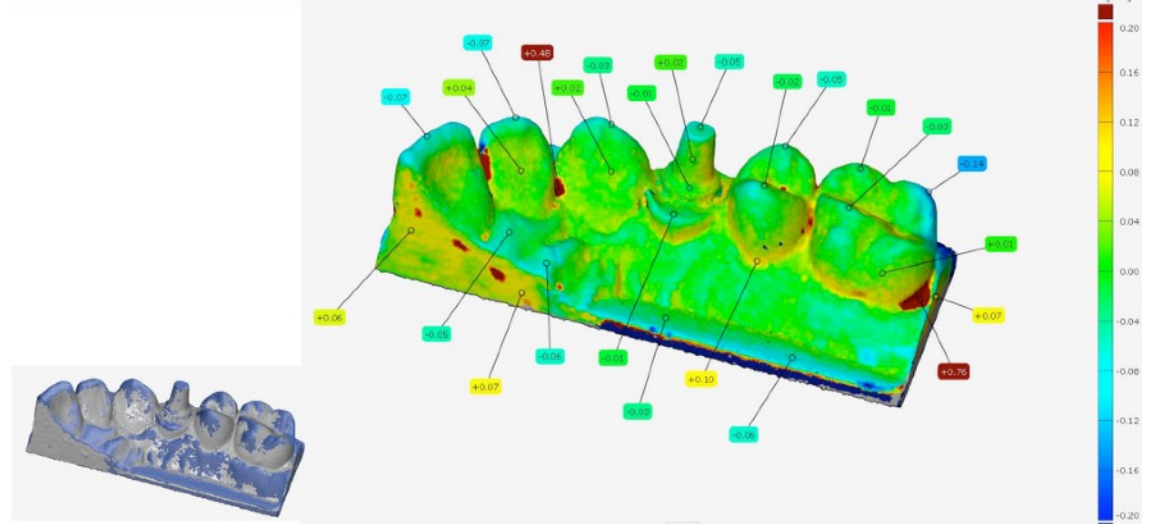


## Dscan AL3



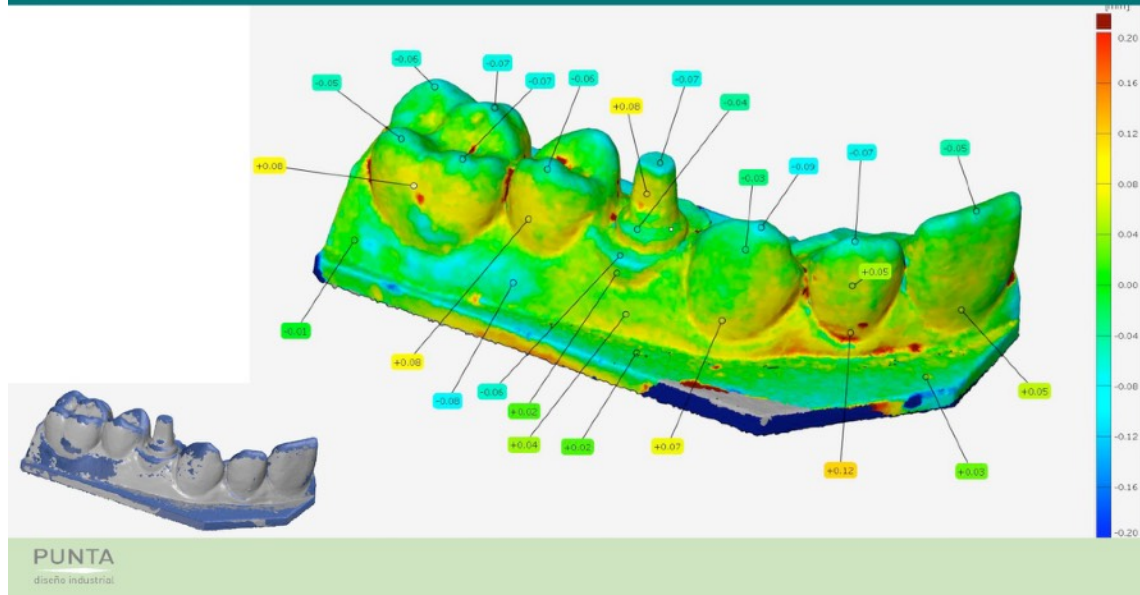
PUNTA  
diseño industrial

## Dscan AL3

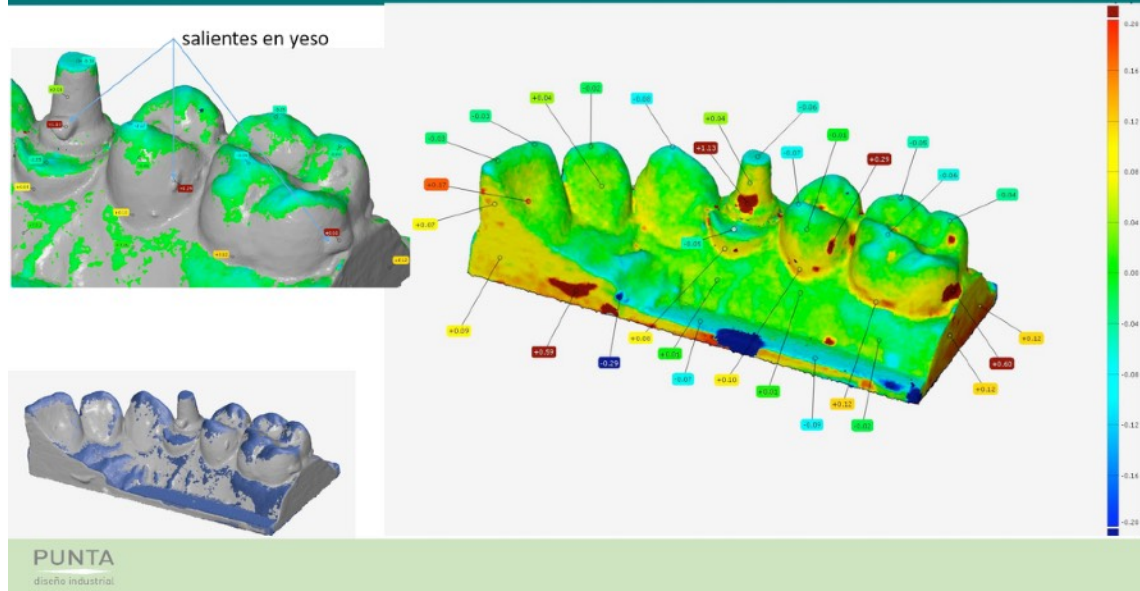


PUNTA  
diseño industrial

## Dscan AL4



## Dscan AL4



# Dscan AL5

The image displays a 3D surface scan of a dental arch, likely a maxillary or mandibular model. The surface is color-coded to represent height or depth, with a color scale on the right ranging from -0.20 (dark blue) to 0.20 (dark red). The model shows several teeth and a central ridge. Numerous data points are labeled with numerical values, indicating specific measurements or deviations. The values range from approximately -0.20 to +0.14. The model is shown from a perspective view, highlighting the curvature and features of the dental arch.

PUNTA  
diseño industrial

# Discan maestro

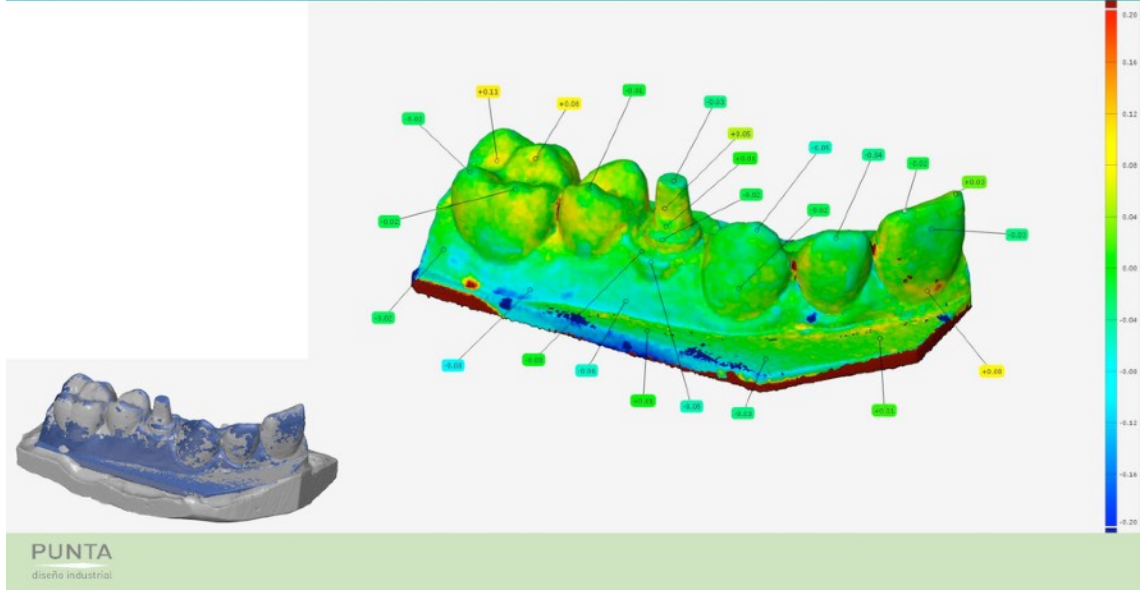
The image displays a 3D surface plot of a dental master model, likely used for creating prosthetics. The plot shows the topography of the model's surface, with various peaks and valleys. A color-coded legend on the right indicates the vertical displacement or deviation from a reference plane, ranging from -0.20 (dark blue) to +0.20 (dark red). Numerous circular callouts are placed across the surface, each accompanied by a numerical value representing the deviation at that point. These values include:

- +0.06
- 0.06
- +0.09
- +0.35
- +0.13
- +0.08
- +0.11
- 0.07
- 0.05
- 0.09
- 0.13
- +0.04
- +0.05
- +0.06
- +0.07
- +0.04
- +0.02
- +0.06
- +0.08
- +0.09
- +0.08
- +0.13
- +0.13

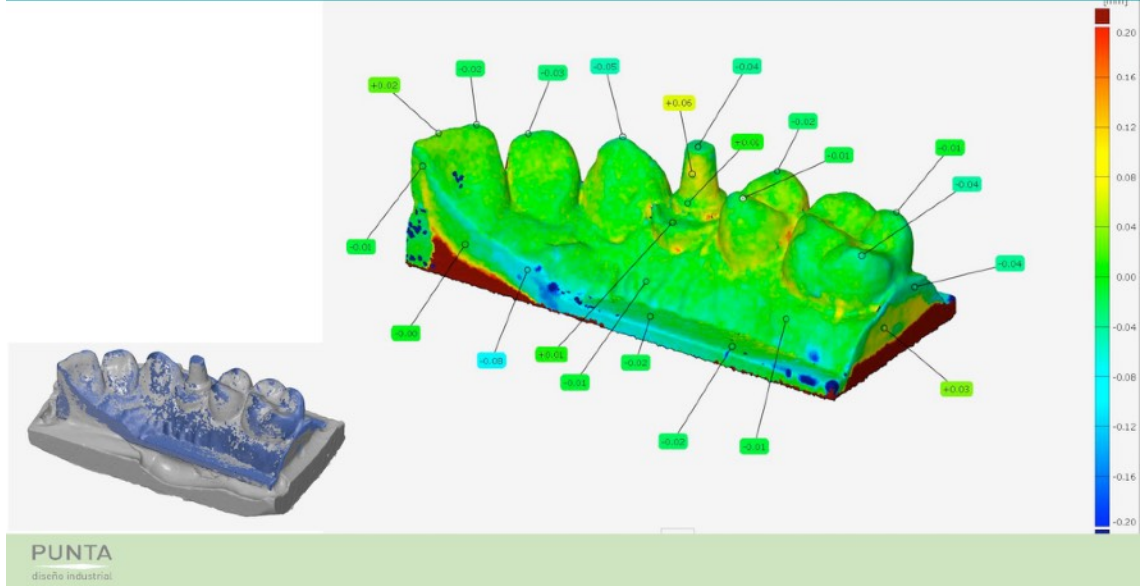
In the bottom left corner, there is a small inset image showing a physical white plaster model of the same dental structure, providing a visual comparison between the digital scan and the original master.

PUNTA  
diseño industrial

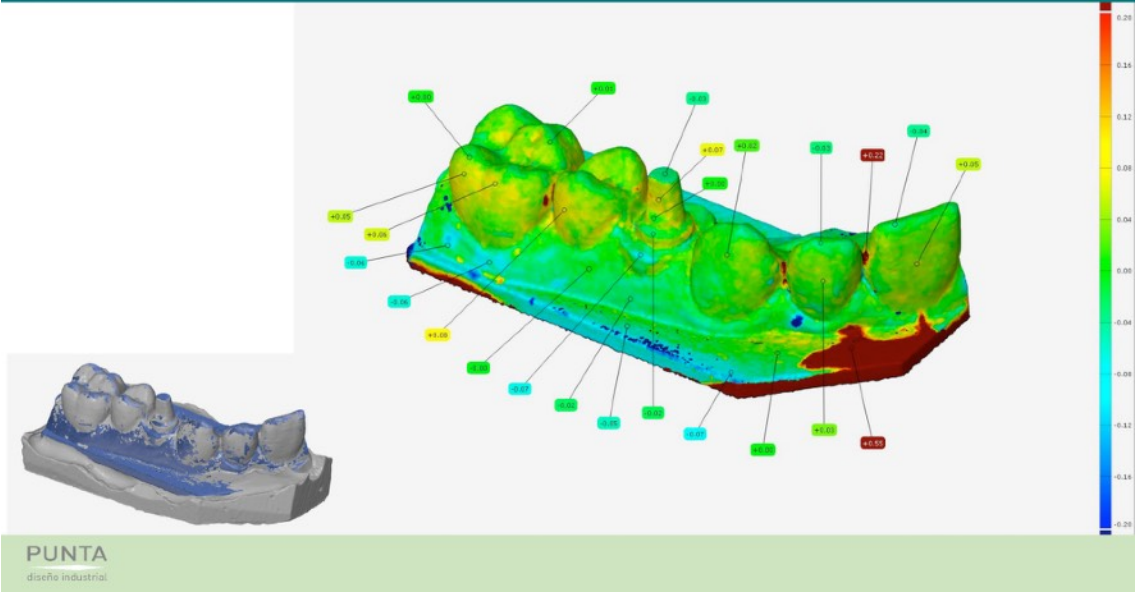
## Dscan SA1



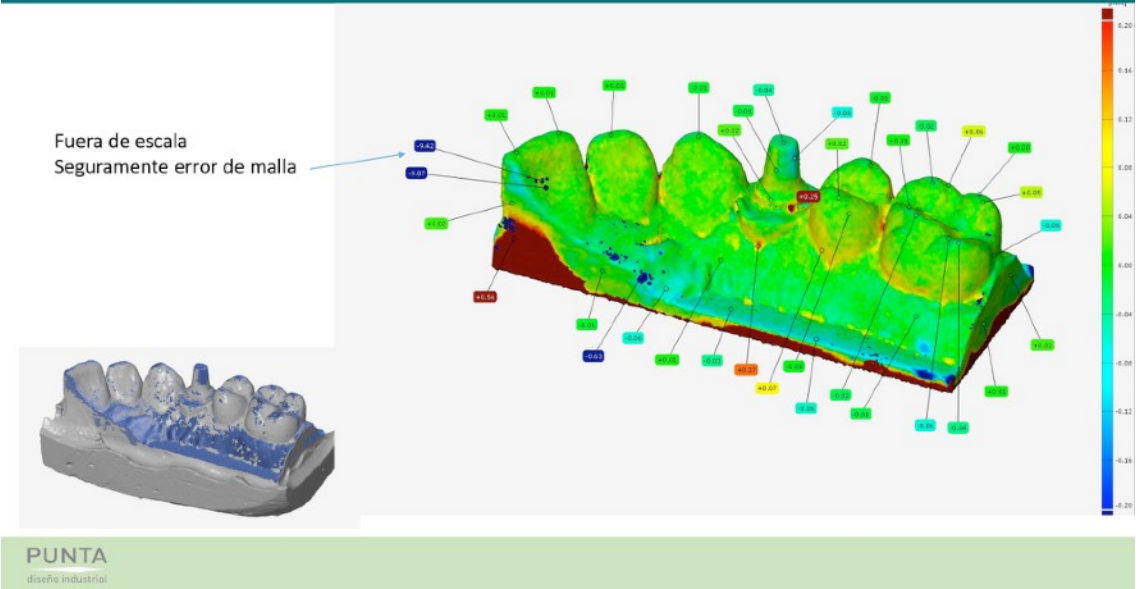
## Dscan SA1



## Dscan SA2



## Dscan SA2

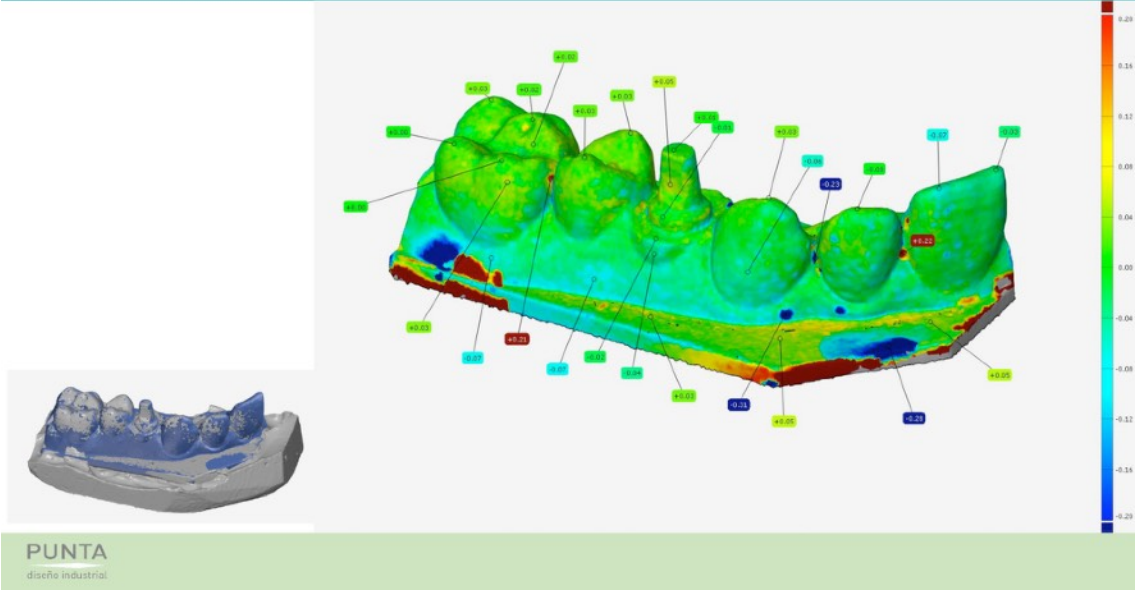


# Dscan SA3

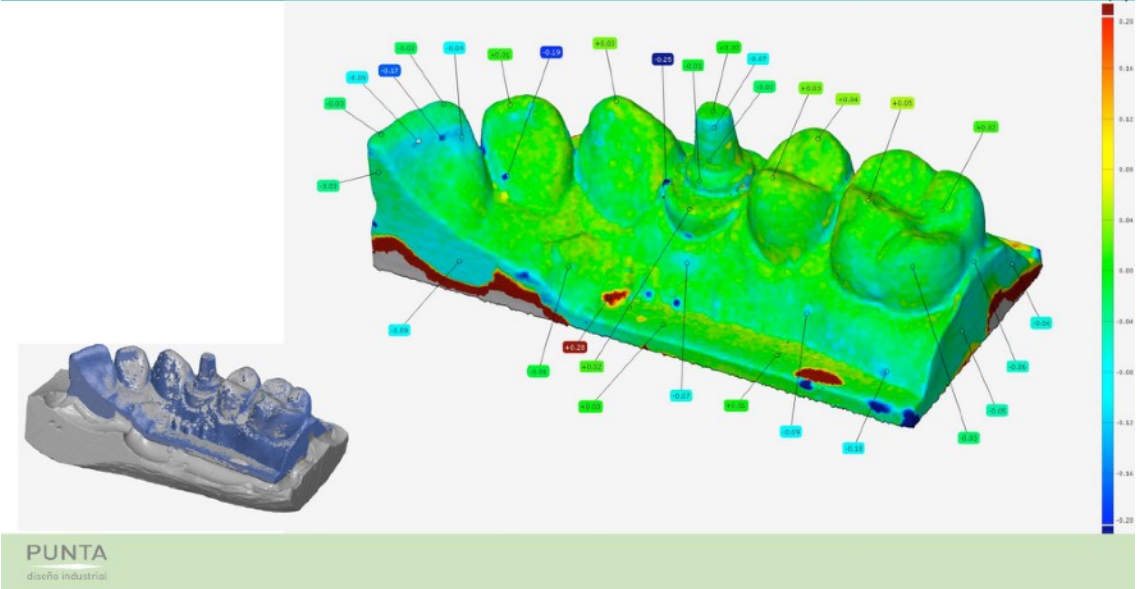
# Dscan SA3

PUNTA  
diseño industrial

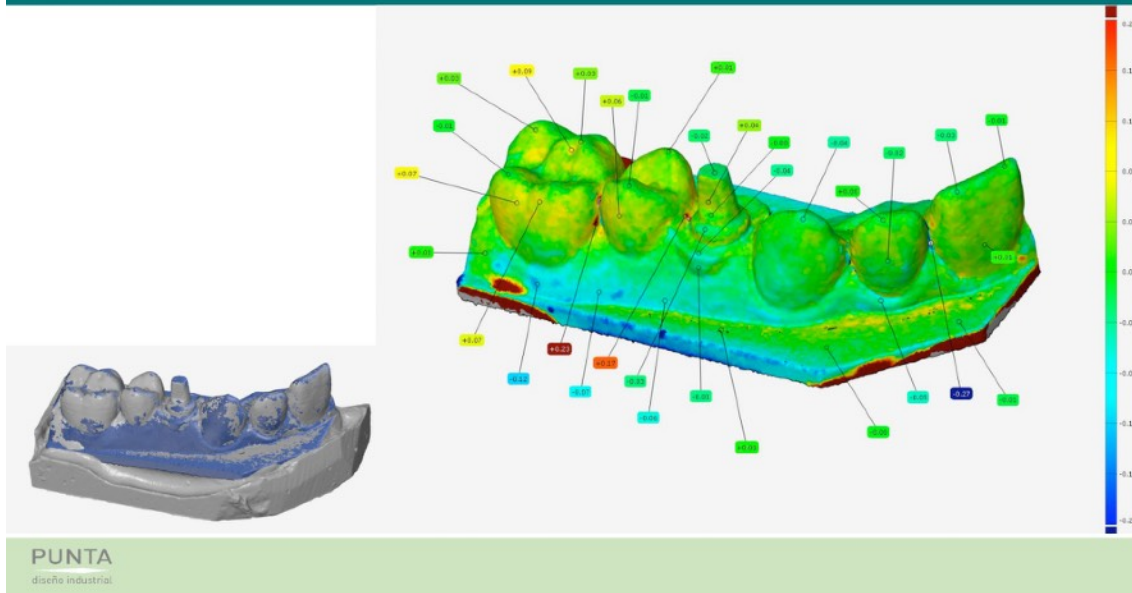
## Dscan SA4



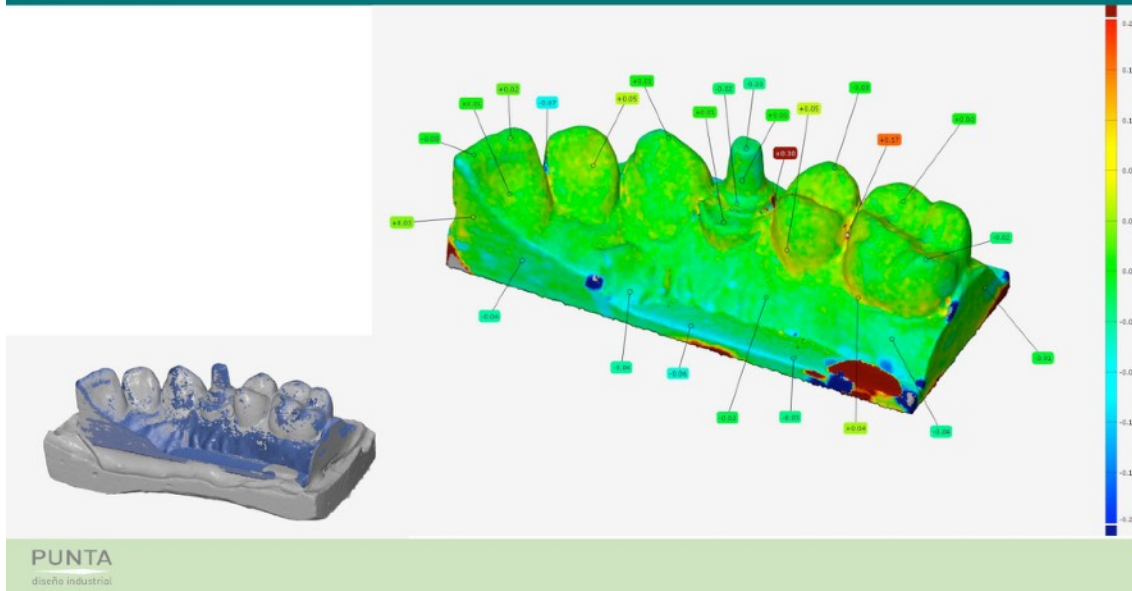
## Dscan SA4



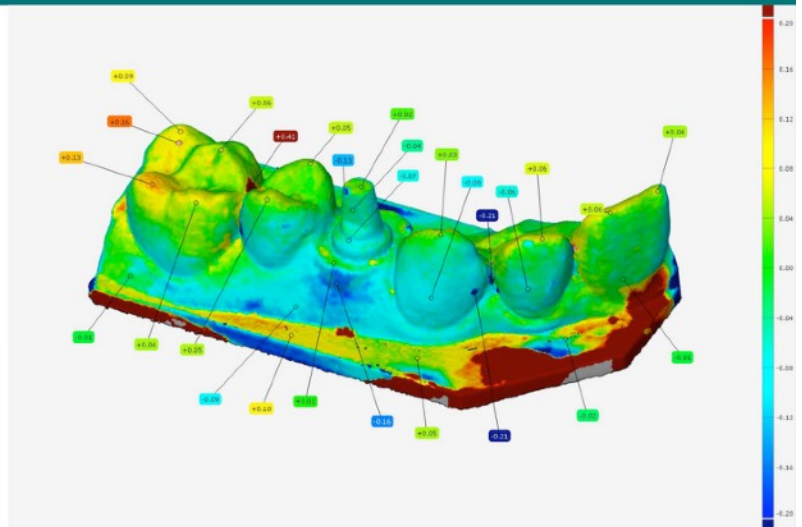
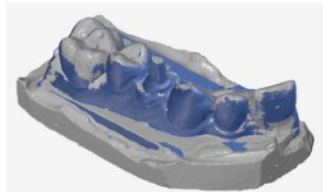
## Dscan SA5



## Dscan SA5

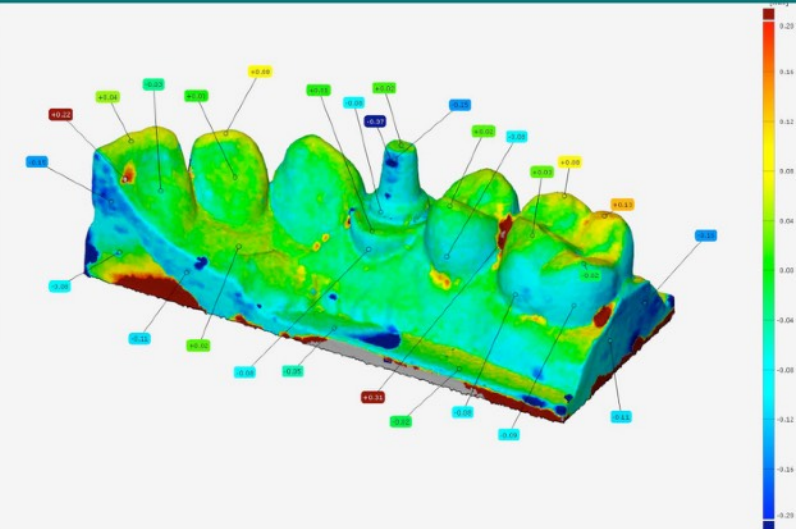
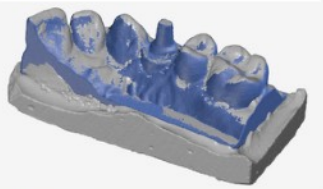


## Dscan SC1



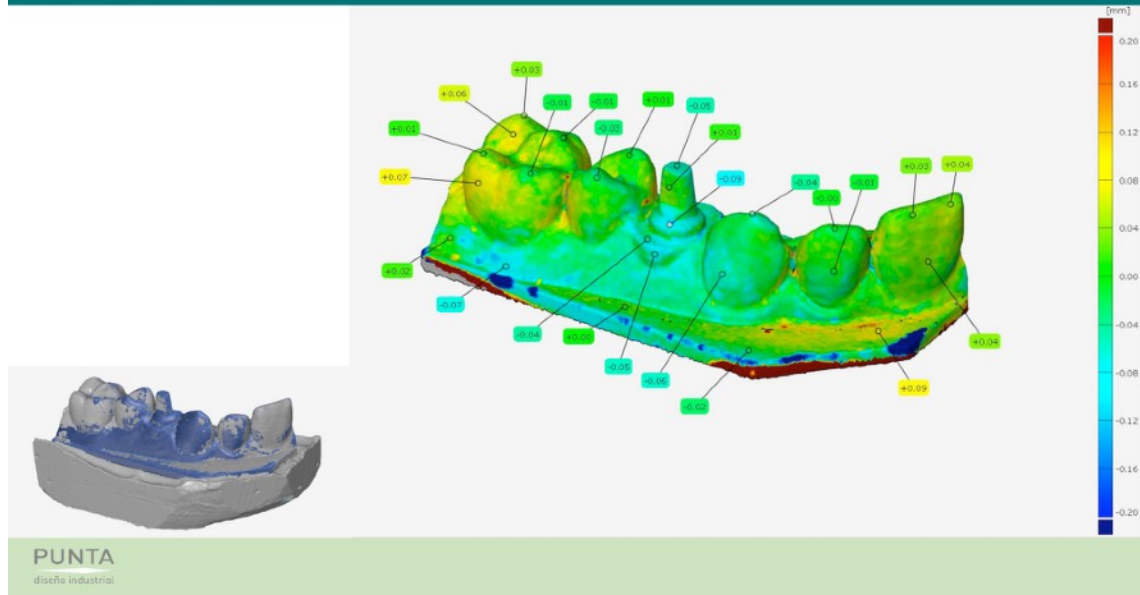
PUNTA  
diseño industrial

## Dscan SC1

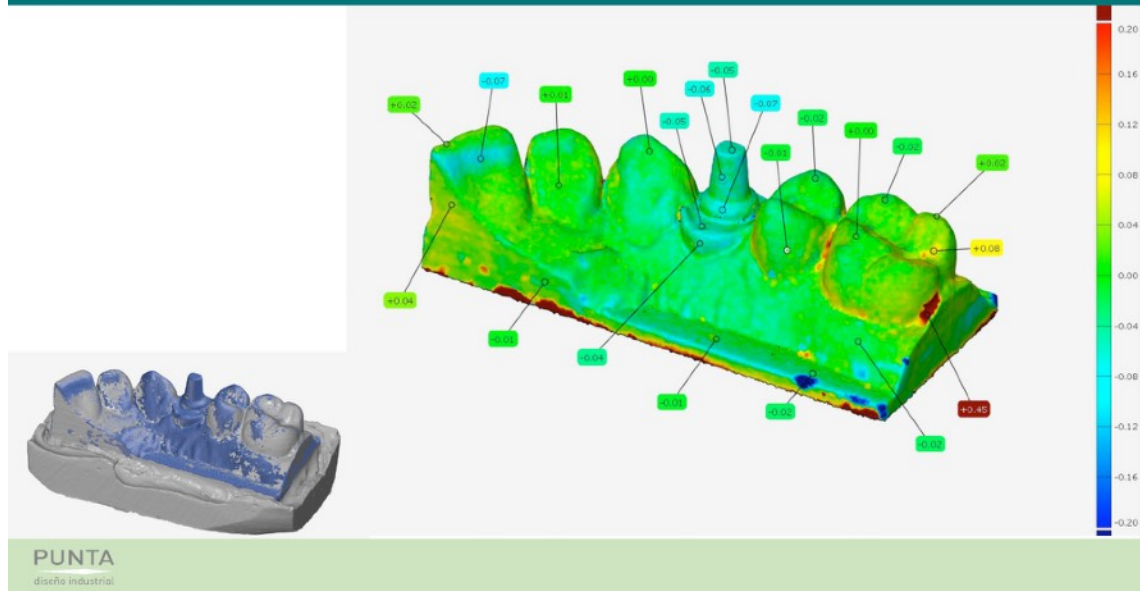


PUNTA  
diseño industrial

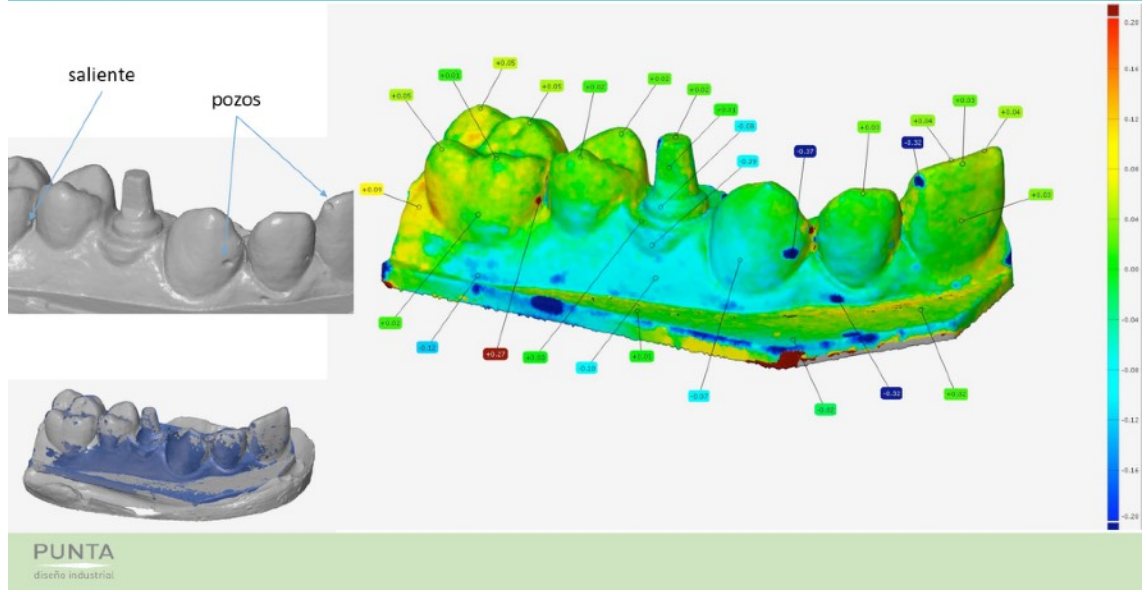
## Dscan SC2



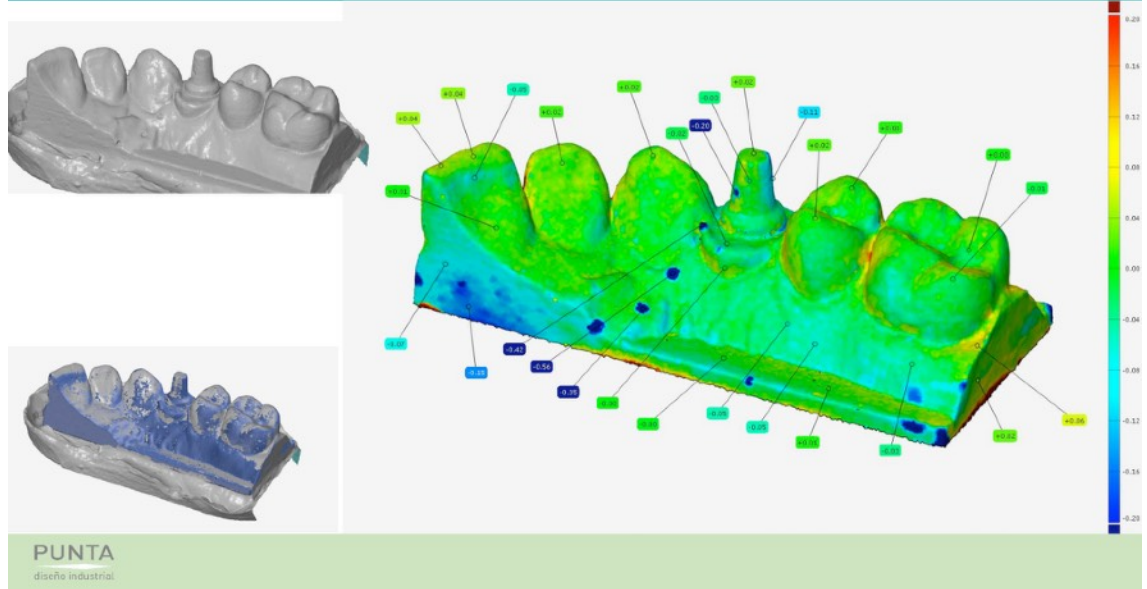
## Dscan SC2



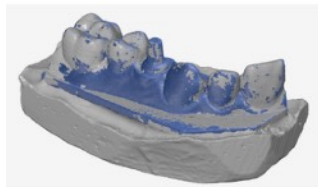
## Dscan SC3



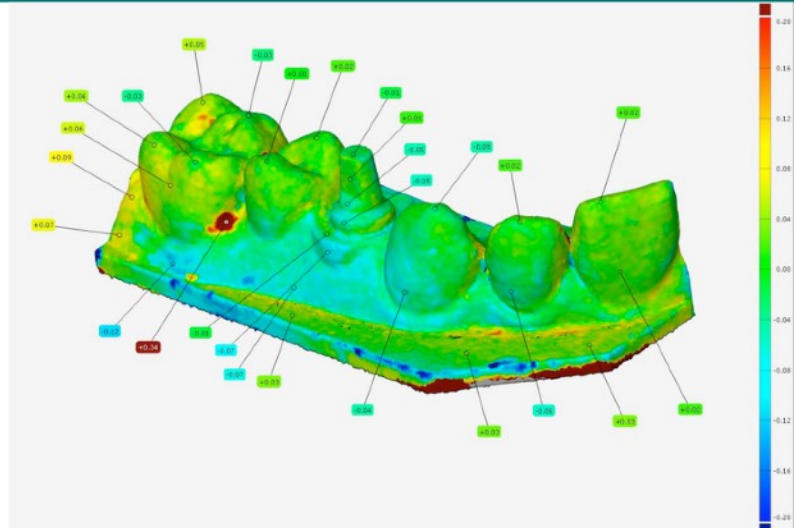
## Dscan SC3



## Dscan SC4



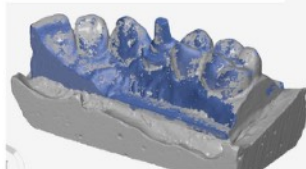
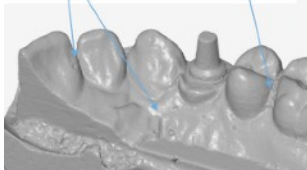
PUNTA  
diseño industrial



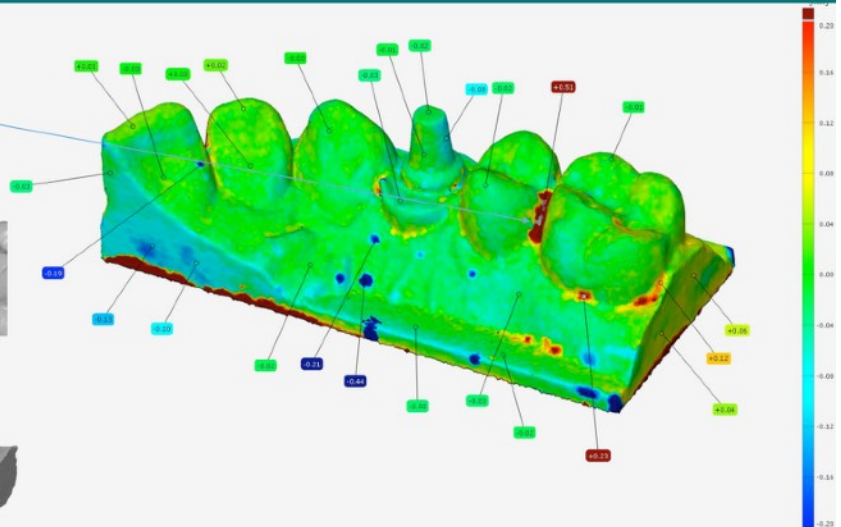
## Dscan SC4

El yeso no lleno  
copio el molde o el  
scanner no vio la  
profundidad?

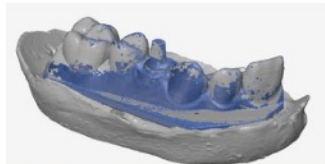
pozos



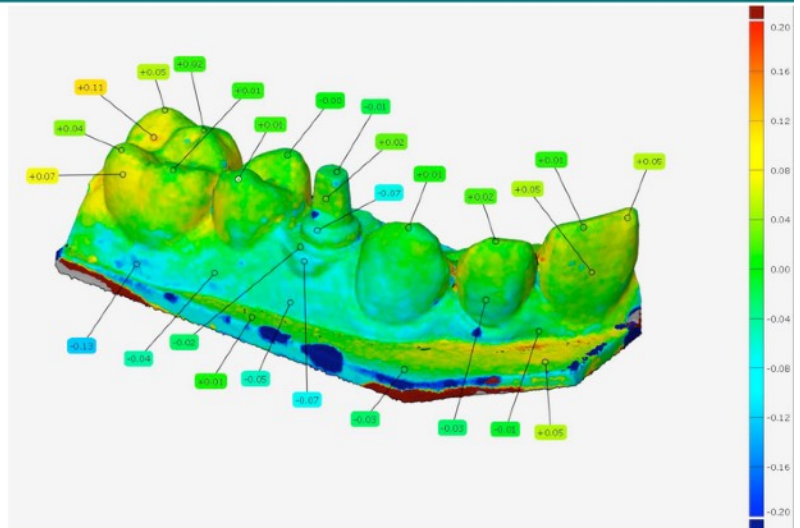
PUNTA  
diseño industrial



## Dscan SC5

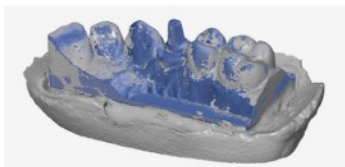
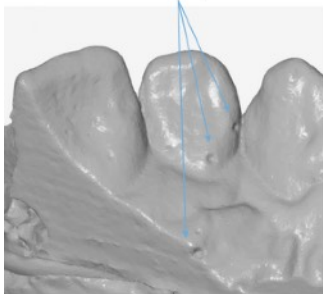


PUNTA  
diseño industrial

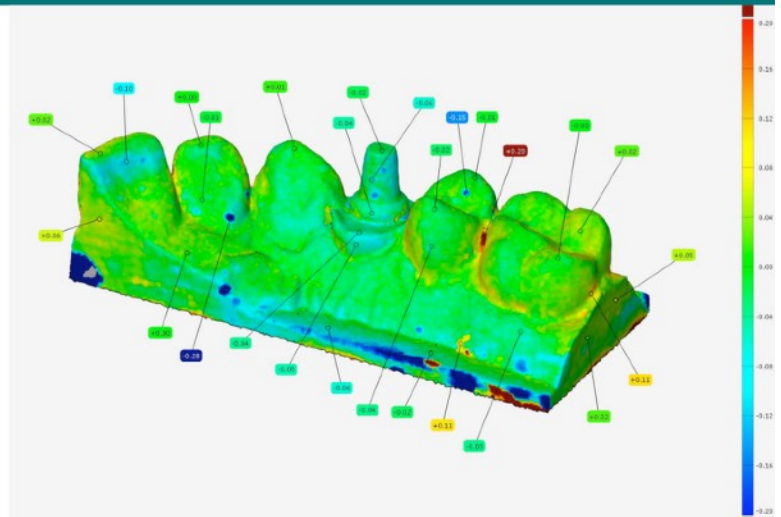


## Dscan SC5

Pozos en yeso



PUNTA  
diseño industrial



### A

#### **AGUJEROS (“HOLES”)**

Situación producida cuando no se hace bien la traducción del objeto a escanear. Son zonas mal escaneadas de donde no se han obtenido datos de ningún tipo.

#### **ANALOGO DE IMPLANTE (SCANBODY)**

Es un cuerpo de exploración específico y apropiado que se utiliza para la captura digital de la información de la localización, posición respecto a las otras estructuras, anulación, diámetro y conexión del implante utilizado.

### B

#### **BORDES DAÑADOS (“BAD EDGES”)**

Es la consecuencia del contacto entre triángulos vecinos en donde dos o más caras están conectadas al mismo borde.

### C

#### **CAD**

Corresponde a “Computer-Aided Design”, diseño asistido por computadora

#### **CAM**

Corresponde a “Computer-Aided Manufacturing”, fabricación asistida por computadora.

#### **CONTORNOS ABIERTOS**

Situación producida cuando los vértices de los triángulos no están completamente cerrados.

#### **CUBETA**

Una cubeta de impresión es un recipiente fabricado especialmente para la realización de tomas de impresiones dentales, por lo que consta de un cuerpo, para contener los diferentes materiales de impresión existentes, que tendrá una forma adecuada adaptada a la anatomía bucal, variando según sea para la arcada superior o inferior.

## **E**

### **ELASTÓMEROS**

Son materiales orgánicos, polímeros, con capacidad para deformarse frente a tensiones y recuperarse fácilmente cuando estas cesan ya que en su estructura contienen moléculas parcialmente entrecruzadas que les permite volver a su forma original.

### **ESCÁNER (de uso odontológico)**

Según la norma ISO 12836, se define como un dispositivo de digitalización en odontología o dispositivo de obtención de datos de las superficies dentales para el diseño y la fabricación, ayudados por computadora, de las restauraciones dentales indirectas confeccionadas a medida, que se utiliza para registrar las características topográficas de los dientes y de los tejidos circundantes, de los componentes para la conexión de implantes, las impresiones dentales, los modelos dentales, mediante métodos análogos o digitales.

### **ESPACIO (“GAPS”)**

Cuando los triángulos de la malla .stl no conectan bien debido a una triangulación inapropiada de las superficies, por lo que hay que proceder a cerrarlos.

### **ESTEREOLITOGRAFÍA**

Es un sistema de prototipado rápido con el que, mediante el procesamiento de los datos obtenidos mediante escáneres intra y extraorales, tomografías axiales computadas (TAC) o resonancias magnéticas nucleares (RMN) de los pacientes, se pueden obtener modelos en tres dimensiones para su futura manipulación.

### **EXACTITUD**

Se define como la capacidad de un instrumento de acercarse al valor de la magnitud real.

## **F**

### **FUNCIÓN DE “best fit”**

Este registro utiliza la información de la superficie de dos conjuntos de datos para calcular la rotación y la traslación entre conjuntos de datos. Se buscan los puntos y formas correspondientes y se minimiza la distancia después de la rotación y la traslación.

### **FUNCIÓN “Surface Comparison on CAD”**

Esto muestra el mapa de color de la desviación de la distancia entre las dos superficies (puntos de datos de nubes).

## **H**

### **HIDROCOLOIDES**

Son materiales elásticos para impresión. Los hay reversibles e irreversibles. Un coloide está formado por una Fase dispersa (matriz) y una Fase dispersante (relleno). Cuando la fase dispersante es agua, se denomina hidrocoloide.

## **I**

### **IMPRESIÓN**

Se define como la reproducción en negativo de las preparaciones dentales, dientes adyacentes y tejidos blandos relacionados.

## **M**

### **MALLA POLIGONAL (.STL)**

Es la unión de puntos de la nube de puntos formando superficies triangulares u otros polígonos complejos.

### **MAPA DE COLOR**

Se realiza entre estructuras superpuestas e indicaban un desplazamiento de datos (coordenadas). Si es interno lo hace de color azul ,o al contrario, si es externo lo hace en rojo, mientras que un cambio mínimo se indicaba con un color verde.

### **MODELO**

Cosa que sirve como pauta para ser imitada, reproducida o copiada. en odontología es la representación física de aquello que se quiere estudiar y a futuro reconstruir del medio bucal.

## **N**

### **NORMALES O NORMALES INVERTIDAS**

Cuando las normales de superficies (polígono) de un modelo 3D están incorrectamente orientadas y apuntan a lados contrarios, cuando éstas deben apuntar hacia un lado uniforme.

### **NUBE DE PUNTOS (.OBJ)**

Se trata de un archivo que contiene las coordenadas cartesianas (x, y, z) de puntos que representan la superficie externa de un objeto.

## **P**

### **PRECISIÓN**

Se define como el grado de concordancia entre resultados de mediciones independientes obtenidos bajo condiciones previamente estipuladas.

## **R**

### **REPETIBILIDAD**

Es el grado de concordancia entre los resultados obtenidos de mediciones sucesivas de la misma magnitud sometida a medición, realizadas bajo las mismas condiciones de medición.

### **REPRODUCIBILIDAD**

Es el grado de concordancia entre los resultados de mediciones de la misma magnitud sometida a medición, realizadas bajo condiciones de medición distinta.

## **S**

### **SUPERPOSICIÓN DE TRIÁNGULOS**

Como su nombre lo indica son superposiciones de triángulos que distorsionan y deforman el resultado final.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Hulley S, Cummings S, Browner W, Grady DN. T. Planificación de las mediciones: precisión y exactitud. En: Stephen B. Hulley MD, MPH, editor. Diseño de las investigaciones clínicas. 4ta ed. Barcelona: Lippincott Castellano. 2014. p. 35-47.
2. Ender A, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete arch dental impressions. J. Prosthet Dent. 2016; 115 (3): 313-20.
3. International Organization for Standardization. ISO-12836. Digitizing devices for CAD/CAM systems for indirect dental restoration e-test methods for assessing accuracy. Geneva: ISO; 2012. Disponible en: <http://www.iso.org/iso/store.htm>.
4. Mangano F, Hauschild U, Veronesi G, Imburgia M, Mangano C and Admakin G. Trueness and precision of 5 intraoral scanners in the impressions of single and multiple implants: a comparative in vitro study. BMC Oral Health. 2019; 101 (19): 792-7.
5. Serrat Báron, M. Evaluación in-vitro de la precisión de los escáneres de uso en la odontología digital para la confección de estructuras para prótesis sobre implantes. [Internet] Barcelona. UIC; 2017. Disponible en: <https://www.tdx.cat/handle/10803/461768#page=1>
6. Tylman, S, Malone W, Koth D. Tylman's Teoría y práctica en prostodoncia fija. 8a ed. Caracas: Actualidades medico-odontológicas latinoamericanas; 1991.
7. Vega Del Barrio J M. Materiales en odontología. Fundamentos biológicos, clínicos, biofísicos y fisicoquímicos. 1ra ed. Madrid. Avances Médico-Dentales. 1996.
8. Macchi, RL. Materiales Dentales. 3ra ed. Buenos Aires. Editorial Médica Panamericana. 2000, p. 203-255.
9. Mallat E. Prótesis fija estética: Un enfoque clínico e interdisciplinario. 1ra ed. Madrid. Elsevier. 2007. p. 353-77.
10. Berrendero Dávila, S. Estudio comparativo de un sistema de impresión convencional y el sistema digital Trios® [Internet] Madrid. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Odontología, departamento de Estomatología I. 2017. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/44193/1/T39065.pdf>
11. List of file formats [Internet]. Estados Unidos: Wikipedia, la enciclopedia libre; 2019 (actualizado el 24 de Agosto de 2020). Disponible en: [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_file\\_formats#Computer-aided](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_file_formats#Computer-aided).

12. International Organization for Standardization. ISO-12836. Digitizing devices for CAD/CAM systems for indirect dental restoration e-test methods for assessing accuracy. Geneva: ISO; 2012. Disponible en: <http://www.iso.org/iso/store.htm>.
13. Chan DCN CA-H, Haines J, Yau EH-T, Kuo C-C. The accuracy of optical scanning: influence of convergence and die preparation. *Operative Dentistry* 2011. 36(5). p. 486-91.
14. Syrek A, Reich G, Ranftl D, Klein C, Cerny B, Brodesser. Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling. *Journal of Dentistry*. 2010. 38. p. 553-9.
15. Cuadrado L (et al.). The i2 Protocol for Digital Immediate Loading in Totally Edentulous Patients: The Basics. En: Peñarrocha-Diago M., Covani U., Cuadrado L. editores. *Atlas of Immediate Dental Implant Loading*. 1ra ed. Suiza. Springer. 2019. p. 293-328
16. Ochoa de Olza Amat, A. Estudio Experimental In-Vitro De Tres Escáneres Cad/Cam Extraorales [Internet]. Madrid. Universidad Complutense De Madrid, Facultad De Odontología, 2012. Disponible En: [https://Eprints.Ucm.Es/17933/1/Dea\\_Ana\\_Ochoa\\_05-09-2012.Pdf](https://Eprints.Ucm.Es/17933/1/Dea_Ana_Ochoa_05-09-2012.Pdf)
17. Begum ZC, P. Rapid Prototyping – When Virtual meets Reality. *Int J Comput Dent*. 2014. 17(4) p. 297-306.
18. Witkowski S. CAD/CAM in dental technology. *Quintessence Dent Technol*. 2005. 28. p. 169-84.
19. Besimo C. CAD/CAM en coronas y puentes.. En: Schmidfeder J. editor. *Atlas de Odontología Estética*. 1a ed. Barcelona. Masson. 1999. p. 235-42.
20. Jeong YG, Lee WS, Lee KB. Accuracy evaluation of dental models manufactured by CAD/CAM milling method and 3D printing method. *J Adv Prosthodont*. 2018;10(3) p. 245-251.
21. Braian M, Wennerberg A. Trueness and precision of 5 intraoral scanners for scanning edentulous and dentate complete-arch mandibular casts: A comparative in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2019;122(2) p. 129-136
22. Michelinakis G, Apostolakis D, Tsagarakis A, Kourakis G, Pavlakis E. A comparison of accuracy of 3 intraoral scanners: A single-blinded in vitro study [published online ahead of print, 2019 Dec 21]. *J Prosthet Dent*. 2019. S0022-3913(19) p. 307-336.

23. Rudolph H, Salmen H, Moldan M, et al. Accuracy of intraoral and extraoral digital data acquisition for dental restorations. *J Appl Oral Sci.* 2016. 24(1) p. 85-94.
24. Rhee YK, Huh YH, Cho LR, Park CJ. Comparison of intraoral scanning and conventional impressions techniques using 3-dimensional superimposition. *J Adv Prosthodont.* 2015. 7 (6). p. 460-7.
25. Pradies G Z, Valverde A, Ferreiroa A, Martinez-Rus F. Clinical evaluation comparing the fit of all-ceramic crowns obtain from silicone and intraoral impressions based on wavefront sampling technology. *J Dent.* 2015. 43. p. 201-8.
26. Ender A, Melh A. Influence of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanning systems. *Int J Comput Dent.* 2013. 16 (1). p.11-21
27. Mangano FG, Veronesi G, Hauschild U, Mijiritsky E, Mangano C. Trueness and Precision of Four Intraoral Scanners in Oral Implantology: A Comparative in Vitro Study. *PLoS One.* 2016. 11(9). e0163107.
28. Van der Meel WJ, Andriessen FS, Wismeijer D, Ren Y. Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology. *PloS one* 2012. 7 (8): e43312.
29. Gan N, Xiong Y, Jiao T. Accuracy of Intraoral Digital Impressions for Whole Upper Jaws, Including Full Dentitions and Palatal Soft Tissues. *PLoS One.* 2016. 11(7):e0158800.
30. Grünheid T, McCarthy SD, Larson BE. Clinical use of a direct chairside oral scanner: an assessment of accuracy, time, and patient acceptance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014. 146(5) p. 673-682.
31. Latham, Jason et al. Effect of scan pattern on complete-arch scans with 4 digital scanners. *Journal of Prosthetic Dentistry.* 2019. 123 (1). p. 85 - 95
32. Ender A, Melh A. Accuracy of complete-arch dental impressions: A new method of measuring trueness and precision. *J prostate dent.* 2013. 109(2). p. 121-8.
33. Gimenez BO, Martinez-Rus F, Pradies G. Accuracy of a digital impression system based on parallel confocal laser technology for implants with consideration of operator experience and implant angulation and depth. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2014. 29(4). p. 853-62.

34. Jeon ID, Lee JJ, Jeon JH, Kim JH, Kim HY, Kim WC. Accuracy of complete-arch model using an intraoral video scanner: An in vitro study. J Prosthet Dent. 2016. 115(6). p. 755-9
35. Rudd KD, Morrow RM, Strunk RR. Accurate alginate impressions. J Prosthet Dent 1969. 22. p. 294-300.
36. Powers JM. Replicating materials - Impression and casting. En: Sakaguchi RL, Powers JM, (editors). Craig's restorative dental materials. 13ra ed. St Louis: Mosby; 2012. p. 277-325
37. Zhang F, Suh KJ, Lee KM. Validity of Intraoral Scans Compared with Plaster Models: An In-Vivo Comparison of Dental Measurements and 3D Surface Analysis. PLoS One. 2016. 11(6). e0157713.
38. Ender A, Mehl A. In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. Quintessence Int. 2015. 46(1) p. 9-17.