

E. Solaberrieta^a, R. Minguez^b, O. Etxaniz^c, L. Barrenetxea^d

Improving the Digital Workflow: Direct Transfer from Patient to Virtual Articulator

Avances en el flujo de trabajo digital: transferencia directa del paciente al articulador virtual

a Dr Eneko Solaberrieta

b Dr Rikardo Minguez

c Ms Olatz Etxaniz

d Dr Lander Barrenetxea

Todos: Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Bilbao

a Dr Eneko Solaberrieta

b Dr Rikardo Minguez

c Ms Olatz Etxaniz

d Dr Lander Barrenetxea

All: Graphic Design and Engineering Projects, University of the Basque Country UPV/EHU, Bilbao, Spain

Resumen

Hoy en día, el procedimiento habitual para la realización de restauraciones dentales a medida se basa en la utilización de herramientas mecánicas clásicas tales como el arco facial o el articulador mecánico. La posibilidad de obtener dichas restauraciones mediante un flujo de trabajo totalmente digital supondría un importante avance cuyo primer paso consistiría en la transferencia directa de todos los datos del paciente al articulador virtual mediante dispositivos de digitalización. Para eliminar la necesidad de estas herramientas mecánicas, este artículo presenta una nueva metodología que permite transferir todos los datos directamente del paciente al articulador virtual, teniendo siempre en cuenta la cinemática de cada mandíbula. Gracias a esta nueva metodología, se esperan grandes avances en este campo en un futuro próximo.

Palabras Clave: articulador virtual, arco facial digital, sistema CAD/CAM, ingeniería inversa

Abstract

When designing a custom-made dental restoration, using a digital workflow represents an important advance over mechanical tools such as facebows or mechanical articulators. When using virtual scanning procedures, there is a direct transfer from the patient to the articulator. This paper presents a novel methodology to design custom-made restorations. This new approach permits the transfer of all data directly from the patient to the virtual articulator, always taking into account the kinematics of the mandible. Rapid further developments can be expected in the near future.

Keywords: virtual articulator, digital facebow, CAD/CAM system, reverse engineering



Introduction

Undoubtedly, CAD/CAM systems constitute the present and the future of the production of prosthetic restorations. These systems are becoming more complete and versatile, and they are being adapted to the needs of dental practices and laboratories. The most remarkable example of this is that the Cerec company (Sirona; Bensheim, Germany) offers the systems Cerec chairside for the production of restorations in-office and Cerec inLab for the laboratory. This does not mean that there is no need for improvement in certain areas, especially regarding the design of individualized dental prosthesis.

In terms of prosthetic design, one of the following four methods can be chosen: the conventional method, the CAD/CAM method, today's digital workflow, and future digital workflow. The latest developments certainly strengthen the latter method. In this sense, the key question is: why not transfer the patient's data (digitized dental arches and their location in the head coordinate system) directly to the computer (virtual articulator)?

Technical and Clinical Requirements

For the proposed methodology, the scanning system, in addition to placing the dental arches in the correct position in the articulator, must be able to digitize all points of the occlusal surface. Hence, the scanning system must meet two requirements: capturing and locating the points located in large volumes (order of magnitude: the patient's head) and digitizing the occlusal surface with sufficient accuracy. Two alternatives that meet both requirements have been posed. The first one consists in an extraoral scanner that can meet both requirements. In this case, it is necessary to generate the plaster models by impressions. The second alternative consists in an intraoral scanner in combination with a recording device.

Another aspect that should be taken into account is that the use of conventional impressions eliminates the possibility of dental tissue displacement, whereas this problem may arise when using an intraoral scanner. Moreover, if slight bleeding or leakage of fluid from the sulcus occurs, this may be compensated because the impression materials are also capable of absorbing a certain amount of moisture. This creates problems in the intraoral scanner. Therefore, the methodology based on conventional impressions is taken as a first step. In the future, once these difficulties are solved, intraoral scanners will be used.

Introducción

Sin duda alguna, la utilización de sistemas CAD/CAM constituye el presente y el futuro en la producción de restauraciones protésicas. Día a día, la complejidad y versatilidad de estos sistemas aumenta, lo que los hace más completos y adaptables a las necesidades de las consultas y los laboratorios. Un ejemplo de ello es que la firma Cerec® (Sirona; Bensheim, Germany) ya ofrece los sistemas "Cerec in situ" para la producción de restauraciones en la propia consulta dental y "Cerec inLab" para el laboratorio. Esto no quiere decir que no haya aspectos aún por mejorar en los sistemas existentes en el mercado, sobre todo en lo referente a individualización del diseño de cada prótesis dental.

Hoy en día, a la hora de diseñar una prótesis, los cuatro métodos que se barajan son los siguientes: el método convencional, el método CAD/CAM, el flujo de trabajo digital actual y el flujo de trabajo digital de futuro. Gracias a los últimos desarrollos, este último método está experimentando grandes avances. En ese sentido, la pregunta clave es la siguiente: ¿Es posible transferir los datos del paciente (las arcadas digitalizadas y su ubicación en el sistema de coordenadas craneal) directamente al ordenador (articulador virtual)?.

Requisitos técnicos y clínicos

Para la metodología propuesta en este artículo, el sistema de escaneado, además de ubicar las arcadas en la posición correcta del articulador, debe ser capaz de digitalizar todos los puntos de la superficie oclusal. Para ello, este sistema deberá poder satisfacer dos requisitos. Por un lado, deberá capturar y ubicar puntos localizados en grandes volúmenes (orden de magnitud: cabeza del paciente) y por otro lado, deberá poder digitalizar la superficie oclusal con suficiente exactitud. Para cumplir con estos dos requisitos se plantean dos alternativas. La primera opción se basa en el uso de un escáner extraoral que pueda cumplir con ambos requisitos, siendo en este caso necesario generar los modelos de escayola mediante impresiones. La segunda opción consiste en la utilización de un escáner intraoral en combinación con otro aparato de registro.

Otro aspecto a tener en cuenta es que al utilizar las impresiones convencionales, el problema del desplazamiento del tejido dental queda eliminado, lo cual no sucede en el caso de que se utilice un escáner intraoral. Además, en caso de sangrado leve o escape del fluido, los materiales de impresión son también capaces de absorber una cierta cantidad de humedad. Estos fluidos generan problemas en el escáner

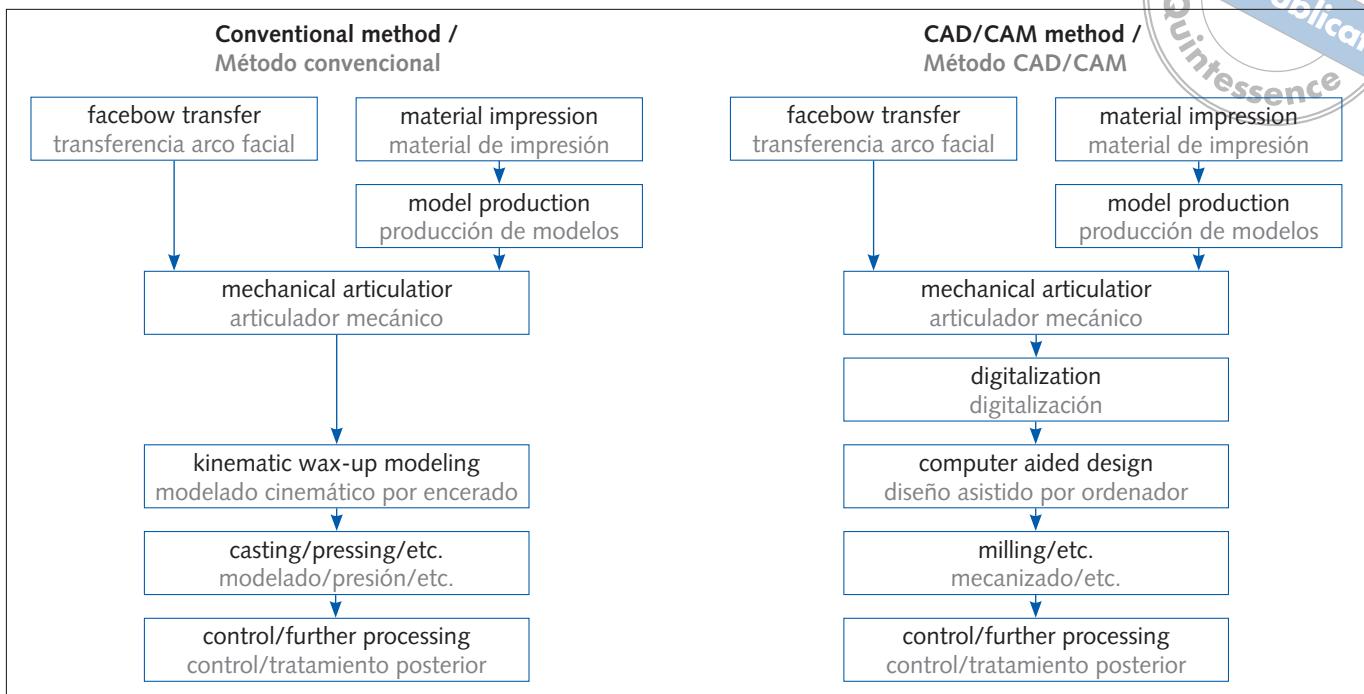


Fig 1 Conventional and CAD/CAM method to produce prosthetic restorations.

Fig 1 Método convencional y CAD/CAM para la producción de restauraciones protésicas.

intraoral, por lo que se plantea, como primer paso, una metodología basada en las impresiones convencionales. En el futuro, una vez que estas dificultades estén resueltas, se utilizarán los escáneres intraorales.

Cambios en los procedimientos de trabajo

Para garantizar una correcta simulación de movimientos mandibulares, y con ello, un diseño realmente individualizado de cada prótesis, las arcadas en el articulador deben estar colocadas, o bien en la posición exacta del paciente, o muy próximas a éste.

Existen cuatro métodos para la producción de restauraciones protésicas. En el primero, el método convencional, se utiliza el arco facial para tomar las medidas antropométricas del paciente y llevar la ubicación de las arcadas al articulador mecánico. Una vez montados los modelos con escayola, teniendo siempre en cuenta los movimientos articulares, se procede a diseñar la restauración.

En el método CAD/CAM con articulador virtual, si se montan las arcadas de forma individualizada, una vez que se tienen los modelos en escayola (Fig. 1), éstos deben ser colocados en el articulador mecánico utilizando yeso. Esto significa que una parte del proceso convencional sigue

Change in the Working Procedures

In order to ensure a correct simulation of the patient's mandibular movements, and consequently, an individualized prosthesis design, the dentist has to mount the arches on the articulator in a manner which simulates the position of the patient as exactly as possible. This paper presents four methods for the production of prosthetic restorations. In the first one, the conventional method, a facebow is used to take anthropometric measurements of the patient and locate the arches on the mechanical articulator. Once plaster models are mounted, and taking into account the movements of the jaw, the restoration is designed.

In the CAD/CAM method with virtual articulator, the arches are mounted individually and the plaster models must be assembled with gypsum on the mechanical articulator (Fig 1). Therefore, this method still involves a part of the conventional process and the aim of the digital workflow is to avoid precisely that part. In the digital workflow, both today and in the future, the data are transmitted directly from the patient to the computer (virtual articulator), thus avoiding the use the facebow and the mechanical articulator. The patient's movements are simulated to obtain a fully individualized kinematic design of the prosthesis (Fig 2).

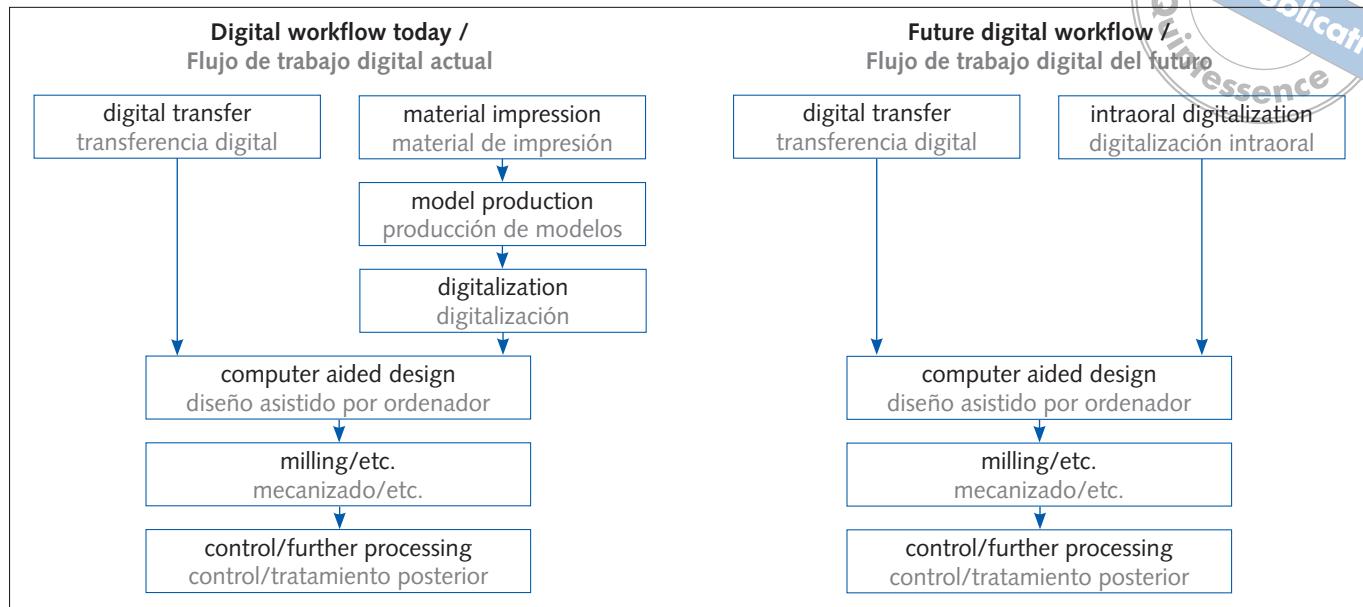


Fig 2 Proposed novel method and future method to produce prosthetic restorations.

Fig. 2 El nuevo método propuesto y el metodo del future.

The proposed methodology still relies on conventional impressions, but in the future, this methodology will be based on intraoral scanners (future digital workflow). For small restorations, it is questionable whether the use of a virtual articulator is really necessary. Hence, some CAD/CAM systems use the average plane for the assembly of the prosthesis, whereas other systems have not yet developed a virtual articulator to simulate jaw movements.

Currently Available Virtual Articulator Technologies

There are several virtual articulators available on the market, although only a few have the original source code: the Exocad (Darmstadt, Germany), 3Shape (Copenhagen, Denmark), and DentCAM (Zebris; Isny, Germany).

The DentCAM articulator was developed by B. Kordass and has been available on the market for many years (Table 1). This virtual articulator is equipped with a device that can register the specific mandibular movements of a given patient and can integrate the movements recorded in the animation.

Exocad has developed a virtual articulator based on the mechanical articulator. That is, the articulator's settings are adjusted and the simulation of the movements is carried out based on the recordings of a mechanical articulator. Several companies have customized the virtual articulator

siendo necesaria, y es precisamente esto lo que se quiere evitar. En un flujo de trabajo digital, tanto en el actual como en el del futuro, los datos se transmiten directamente del paciente al ordenador (articulador virtual). Es decir, que sin hacer uso del arco facial mecánico ni del articulador mecánico, se logra simular los movimientos del paciente y obtener un diseño cinemático individualizado (Fig. 2). La metodología planteada en este artículo sigue utilizando impresiones convencionales, pero en el futuro esta metodología se tendrá que ajustar al empleo de escáneres intraorales (flujo de trabajo digital futuro).

Para pequeñas restauraciones, la necesidad de utilizar un articulador virtual es cuestionable. De ahí que existan algunos sistemas CAD/CAM que utilizan el plano medio para realizar el montaje, mientras que otros sistemas aún no han desarrollado un articulador virtual que simule los movimientos mandibulares.

Tecnologías de articuladores virtuales actualmente disponibles

Actualmente, existen varios articuladores virtuales disponibles en el mercado, aunque sólo unos pocos poseen su código fuente original: Exocad®, 3Shape® y DentCAM® (Tabla 1). El articulador DentCAM® fue desarrollado por Kordass y lleva ya varios años en el mercado. Este articulador virtual está equipado con un dispositivo que registra los

Table 1/Tabla 1

Product Producto	Company Compañía	Virtual articulator Articulador virtual	Website Página web	Transfer method Método de transferencia
Ceramill Motion 2	AmannGirrbach; Koblach, Austria	Artex®	www.amanngirrbach.com	Individualized Individualizado
dentCreate!	SmartOptics; Oslo, Norway	SAM®, Artex®, Baumann®	www.smartoptics.de	Individ. (patent.)
Zirkonzahn	Zirkonzahn; Gais Bolzano, Italy	Artex®, Protar®, SAM®, Stratos®	www.zirkonzahn.com	Individ. (patent.)
DentCAM	KaVo; Hamburg, Germany	Register / registro	www.kavo.com	Registered Registrado
3Shape	3Shape Dental System; Copenhagen, Denmark	SAM®, Protar®, Denar®, ACR(ArtexCompatib.)	www.3shapedental.com	Average plane Plano medio



Fig 3 Amann-Girrbach's transfer procedure.
Fig. 3 Procedimiento de transferencia de AmannGirrbach.



Fig 4 SmartOptics's transfer procedure.
Fig. 4 Procedimiento de transferencia de SmartOptics.

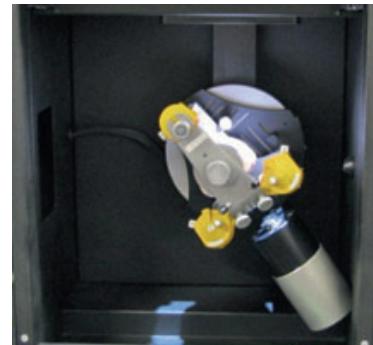


Fig 5 Zirkonzahn's transfer procedure.
Fig. 5 Procedimiento de transferencia de Zirkonzahn.

movimientos mandibulares específicos de cada paciente y puede integrar los movimientos registrados en la animación. Exocad® ha desarrollado un articulador virtual basado en los articuladores mecánicos, que no registran los movimientos de cada paciente. Esto es, los parámetros del articulador se ajustan y se simula el movimiento en base al articulador mecánico. Varias empresas del sector han personalizado este articulador virtual adaptándolo a su sistema CAD/CAM y a su articulador mecánico específico. Una de los más importantes es AmannGirrbach®, que ha desarrollado un método para la transferencia de modelos mecánicos al articulador virtual (Fig. 3). SmartOptics® también trabaja con Exocad®, aunque ha patentado su propio procedimiento de transferencia (Fig. 4). Zirkonzahn® utiliza un procedimiento similar para la transferencia pero sin embargo, en este caso, se coloca en el escáner el articulador mecánico al completo (Fig. 5). Otro articulador virtual de código fuente original es el 3Shape®, aunque la transferencia individualizada de los datos de cada paciente aún no está disponible.

to their CAD/CAM system and specific mechanical articulator. One of the most important is AmannGirrbach (Koblach, Austria), which has developed a method for transferring mechanical models to the virtual articulator (Fig 3). SmartOptics (Oslo, Norway) also works with Exocad, although it has patented its transfer procedure (Fig 4). Zirkonzahn (Gais Bolzano, Italy) also uses a similar procedure for the transfer. However, in this case the entire mechanical articulator is located on the scanner (Fig 5). Another original source code virtual articulator firm is 3Shape, although the individualized transfer of the patient's movements is not available yet.

Clinical Case

A 26-year-old man was scheduled for a restoration on the mandibular right first molar. The restoration was carried out using the presented novel method, using the innovative

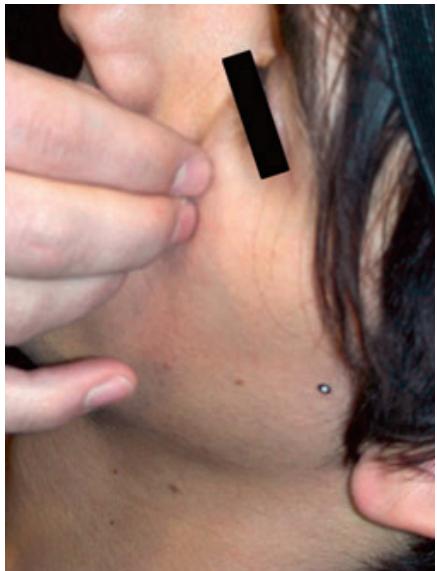


Fig 6 Placing stickers on patient.
Fig. 6 Colocando las pegatinas en el paciente.



Fig 7 Scanning left temporomandibular point.
Fig. 7 Escaneando el punto temporomandibular izquierdo.

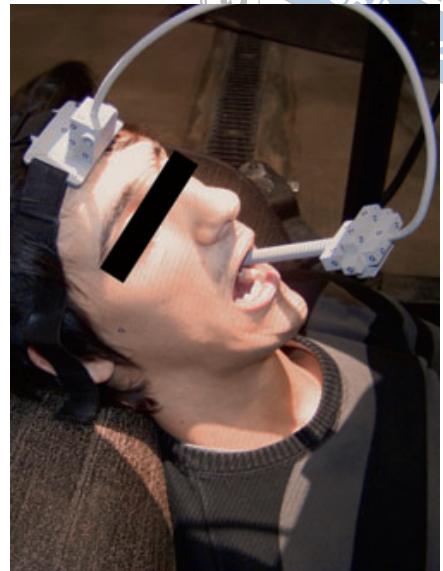


Fig 8 Scanning occlusal point.
Fig. 8 Escaneando el punto oclusal.

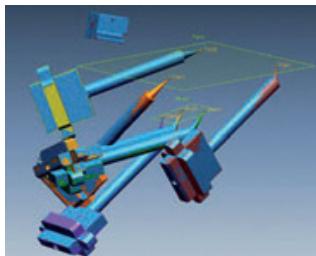


Fig 10 Three points of the occlusal plane.
Fig. 10 Tres puntos del plano oclusal.

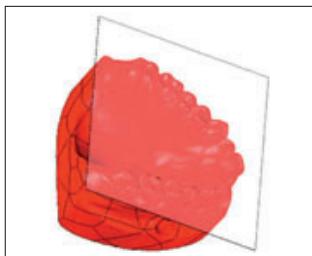


Fig 11 Occlusal plane on digitized maxillary cast.
Fig. 11 Plano oclusal en la arcada maxilar digitalizada.

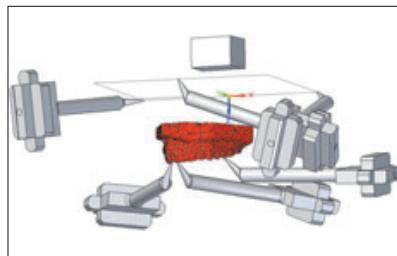


Fig 12 Location of maxillary cast on virtual articulator.
Fig. 12 Ubicación de la arcada maxilar en el articulador virtual.

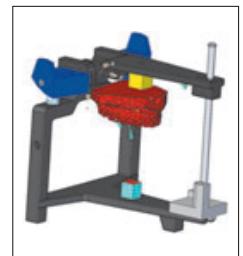


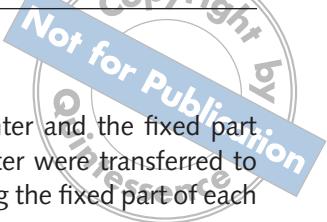
Fig 9 Locations of pointer on cranial coordinate system.
Fig. 9 Ubicaciones del puntero en el sistema de coordenadas craneal.

technologies of the currently available digital workflow. The following paragraphs describe the steps that were followed. The reference targets (stickers) were located on the patient's face (Fig 6). The pointer was scanned (ATOS I rev.2, GOM; Braunschweig, Germany) at three positions, thus determining the infraorbital point and two temporomandibular points (Fig 7). These 3 points generated the cranial coordinate system.

Then, with the help of an articulating paper, the three most prominent points of the occlusal plane were located with the support of a flat metal facebow fork. Using the same procedure as before, the pointer was scanned in these three positions, thus determining the occlusal plane (Fig 8).

Caso clínico

Un hombre de 26 años de edad estaba programado para una restauración en el primer molar inferior derecho. La restauración se llevó a cabo siguiendo la metodología presentada, utilizando tecnologías innovadoras del flujo de trabajo digital actualmente disponible. A continuación se detallan los pasos seguidos. Primeramente, se colocaron las pegatinas de referencia en la cara del paciente (Fig. 6). Se escaneó el puntero (ATOS I rev.2, GOM mbH, Braunschweig, Alemania) en tres posiciones, para determinar el punto infraorbitario y dos puntos temporomandibulares (Fig. 7). Con estos 3 puntos se generó el sistema de coordenadas craneal.



A continuación, utilizando un papel de articular, se determinaron los tres puntos más prominentes del plano oclusal con el apoyo del plato de metal del arco facial. Utilizando de nuevo el procedimiento anterior, el puntero se escaneó en estas tres posiciones, determinando así el plano oclusal (Fig. 8).

Una vez escaneadas las 6 posiciones del puntero y la parte fija, estas posiciones fueron transferidas a un sistema de coordenadas común, haciendo coincidir la parte fija de cada escaneado (Fig. 9).

Los 3 puntos más prominentes fueron identificados en el modelo superior digitalizado (Fig. 10) y transferidos al sistema de coordenadas del cráneo (Fig. 11). El modelo superior se transfirió al software del articulador virtual, haciendo coincidir el sistema de coordenadas craneal con el sistema de coordenadas del articulador virtual (Fig. 12).

Perspectiva

La metodología presentada es técnicamente viable. Por lo tanto, las arcadas digitalizadas pueden ser transferidas al articulador virtual en su posición individualizada directamente del paciente. En los próximos años, con las mejoras en esta tecnología, el diseño de prótesis dentales llegará a ser totalmente digital y con ello se agilizará notablemente el proceso de producción de restauraciones protésicas. Aunque la digitalización total de este procedimiento constituye sin duda un avance fundamental para mejorar el diagnóstico y el tratamiento de cualquier caso, es difícil prever la magnitud y los efectos de este importante avance. La agilización de la transferencia de los modelos al articulador virtual puede fomentar decisivamente el uso del mismo y por consiguiente, mejorar significativamente el proceso de producción de restauraciones protésicas.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Andras Szentpetery, DDS, PhD, por su contribución a este proyecto. Él ha sido un referente en esta línea de investigación.

Además, los autores de este trabajo queremos agradecer a la Facultad de Ingeniería de Bilbao por albergar el Laboratorio de Diseño de Producto en sus instalaciones y a la Universidad del País Vasco UPV/EHU por la financiación de este proyecto (EHU/GIU 10/15).

IJCD

Having the 6 positions of the pointer and the fixed part scanned, the positions of the pointer were transferred to the same coordinate system, making the fixed part of each scan coincide (Fig 9).

The three most prominent points were identified on the digitized maxillary cast (Fig 10) and transferred to the cranial coordinate system (Fig 11). The maxillary cast was transferred to the virtual articulator software, aligning the cranial coordinate system with the virtual articulator's coordinate system (Fig 12).

Outlook

The presented methodology is technically feasible, so digitized dental arches can be transferred directly from each patient to the virtual articulator. In the coming years, prostheses design is bound to become a fully digital process, with a definite improvement in the technology that will speed up the process. Although there is no doubt as to the importance of this procedure in order to improve the diagnosis and treatment of any case, the magnitude and impact of this development cannot be foreseen at present. Speeding up the transfer of the models to the virtual articulator can encourage its use, thus improving the production process of prosthetic restorations.

Acknowledgments

The authors would like to thank Andras Szentpetery, DDS, Ph.D., for his contribution to this project. He has been a most valuable guide along this line of research. The authors also extend their gratitude to the Faculty of Engineering of Bilbao for accomodating the Product Design Laboratory at their facilities and the University of the Basque Country UPV/EHU and for financing this project (EHU/GIU 10/15).

IJCD



Address/Adresse: Dr Eneko Solaberrieta, Graphic Design and Engineering Projects, University of the Basque Country UPV/EHU, Alameda Urquijo s/n, 48013 Bilbao, Spain, E-Mail: eneko.solaberrieta@ehu.es

Dr Eneko Solaberrieta

2003 Industrial Engineering (Mechanical area) – Faculty of Engineering of San Sebastian
2004 Industrial Engineer in Sarralde Equipos Siderurgicos, S.L.
2004–2005 Industrial Engineer - Mancomunidad Urola Kosta
2005–2006 Assistant Professor – Universidad De Mondragon
2006–2013 Assistant Professor – University of The Basque Country
2010 Foreign language teacher (Primary school) – Faculty of teaching (Univ.Basque Country)
2011 Engineering Design Thesis – Faculty of Engineering of Bilbao

Dr Eneko Solaberrieta

2003 Ingeniería Industrial (Mecánica) – Escuela Superior Técnica de Ingenieros Donostia
2004 Ingeniero Industrial Sarralde Equipos Siderúrgicos, S.L.
2004–2005 Ingeniero Industrial – Mancomunidad Urola Kosta
2005–2006 Profesor ayudante – Universidad De Mondragon
2006–2013 Profesor ayudante – Universidad del País Vasco UPV/EHU
2010 Maestro de Lengua extranjera (Primaria) – Escuela de Magisterio (Universidad del País Vasco UPV/EHU)
2011 Ingeniería de Diseño – Escuela Superior Técnica de Ingeniería – Bilbao