

APLICACIONES DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL AL ESTUDIO DE LAS INTERFERENCIAS OCLUSALES

DANIEL LLOMBART*
y
JOSÉ ANTONIO LLOMBART**

* *Facultad de Odontología, Universidad de Barcelona
Pabellón de Gobierno, 1a. planta, Feixa Llarga, s/n
08907 Hospitalet de Llobregat, Barcelona, España*

** *E.T.S. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Madrid
Ciudad Universitaria, s/n
28040 Madrid, España*

RESUMEN

El artículo presentado muestra diversos aspectos en los que es posible establecer una relación entre la odontología y el análisis estructural, con el objeto de estudiar conjuntamente determinados fenómenos derivados del comportamiento del complejo craneomandibular.

Se describe el resultado de un reciente trabajo realizado, en el que mediante la modelización de una mandíbula humana como una estructura resistente sometida a la acción de los músculos, representados como un conjunto de fuerzas exteriores, ha sido posible extraer conclusiones de tipo clínico. Los resultados del proceso realizado han permitido establecer una relación directa entre las magnitudes de las reacciones de apoyo obtenidas en el análisis estructural con diversos grados de patología en los cóndilos, que se corresponden con la observación clínica realizada en pacientes.

La experiencia desarrollada abre un camino de colaboración interdisciplinar en el que las técnicas propias del análisis estructural ofrecen grandes posibilidades para el futuro progreso de la odontología.

SUMMARY

The article presents different aspects in which it is possible to establish a relationship between Odontology and Structural Analysis, with the object of studying jointly determined phenomena derived from the behaviour of the craniomandibular complex.

What is described is the result of recent work in which, by modelling a human mandible as a resistant structure subject to the action of muscles, represented as a collection of exterior forces, it has been possible to obtain clinical conclusions. The results of the process have allowed us to establish a direct relationship between the magnitude of the support reactions obtained in the structural analysis, with diverse degrees of pathology in the condyles, that correspond to the clinical observation carried out in patients.

Recibido: Enero 1996

The experience carried out opens the road to an interdisciplinary collaboration in which the techniques of structural analysis offer great possibilities for the future progress of odontology.

INTRODUCCIÓN

El complejo craneomandibular, considerado como una estructura resistente está sometido a la actuación de unas fuerzas de gran intensidad producidas durante las actividades normales de la vida cotidiana y fundamentalmente a lo largo del proceso de masticación.

Los efectos derivados de la actuación de dichas fuerzas revisten un gran interés en la odontología por su relación con los trastornos craneomandibulares. Hasta el momento, la odontología se ha apoyado poco en el análisis estructural en lo que concierne a la cuantificación del estado tensional interno, determinación de las fuerzas de reacción que actúan en las articulaciones y su evolución durante los movimientos propios de la mandíbula.

En muchas ocasiones, se ha pretendido justificar la patología y cierto tipo de alteraciones que se conocen por la clínica mediante explicaciones de tipo estructural más o menos simplistas, formuladas sin el apoyo de conocedores o especialistas del cálculo estructural.

Existe, por tanto, un vacío en el conocimiento del proceso causa-efecto perteneciente a la problemática profesional derivada de la actuación de fuerzas y las consecuencias de ellas sobre la estructura craneomandibular.

La problemática expresada en los citados términos guarda un paralelismo con la que normalmente se presenta en gran número de casos de ingeniería civil que precisan la realización de un análisis numérico con el objeto de determinar en una estructura el estado tensional, desplazamientos, y reacciones de apoyo. Los métodos de cálculo y análisis estructural pueden ser aplicados para el estudio de la mandíbula, considerada como una estructura resistente sometida a la acción de unas fuerzas. En definitiva, se requiere una actuación interdisciplinar entre la profesión de la odontología y la de ingeniería aplicada a las estructuras.

Las publicaciones en las revistas de ingeniería sobre este tema son escasas, por ello uno de los objetivos del presente artículo, aparte de la descripción de una aplicación, consiste en formular una llamada a los profesionales de la ingeniería para trabajar en este camino. Existen grandes posibilidades de progreso para la odontología con la aplicación de las técnicas desarrolladas por la ingeniería, por lo que pretendemos crear una inquietud y mostrar la necesidad de colaboración, con el objeto de avanzar conjuntamente, por una parte en la adaptación de dichas técnicas para su aplicación a la odontología y en segundo lugar, para progresar en el conocimiento de los fenómenos físicos que se producen en el complejo craneomandibular.

La terminología que vamos a emplear en lo referente al análisis estructural será la propia de la ingeniería, aunque es obligado mencionar al mismo tiempo conceptos específicos de la odontología.

ASPECTOS EN LOS QUE LA ODONTOLOGÍA PUEDE BENEFICIARSE MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Entre los temas en los que la odontología necesita progresar y que difícilmente pueden ser resueltos sin la aplicación de un análisis estructural realizado con rigor podemos citar, entre otros, los siguientes:

- a) Determinación de tensiones en el interior del hueso como consecuencia de la aplicación de implantes
Los implantes son elementos extraños al organismo, metálicos y de forma roscada que, colocados dentro del hueso con técnicas quirúrgicas y una vez integrados al mismo, sirven como soporte de sobreestructuras protésicas para reemplazar la falta de dientes. Es por tanto, un elemento heterogéneo en esta estructura ósea y puede resultar conveniente el conocimiento del estado tensional en el interior del hueso, así como en el propio implante.
- b) Resistencia de la mandíbula frente a impactos por accidentes y formas de fractura. Nos referiremos a lo que sería la pieza estructural en su sentido más amplio. Queremos conocer cómo funciona frente a unas cargas excepcionales, como pueden ser los traumatismos.
- c) En ortodoncia, se aplican fuerzas exteriores en los dientes. La reacción del organismo hace que cambie su posición dentro de la arcada dentaria. En este caso los dientes producen dentro de la estructura ósea un estado tensional anormal al que el organismo no está acostumbrado. Las tensiones existentes generan una reacción biológica que se traduce en una modificación posterior. Se precisa, en primer lugar, el conocimiento y cuantificación de las tensiones instantáneas que se producen. Definimos como tensiones instantáneas, las que existen en el momento de aplicación de estas fuerzas, ya que a lo largo del tiempo hay una redistribución, una remodelación de dichas tensiones y una variación a su vez, de las propias fuerzas iniciales. Ello conduce a la necesidad de readaptar las cargas de forma paulatina. Es necesario, por tanto, conocer en cada punto la magnitud y dirección de estas tensiones. Se trata de un tema que podría ser abordado con las consideraciones propias de un problema a resolver, con una metodología usual en ingeniería, mediante la técnica de los elementos finitos en un material con características viscoelásticas¹.
- d) Prótesis. En las prótesis fijas destinadas a la colocación de dientes para reemplazar los que han sido extraídos, se preparan los adyacentes, tallándolos para que puedan ejercer una función similar a la de las pilas que forman parte de la estructura de un puente diseñado por ingenieros. Las pilas de los puentes están unidas entre sí por un tablero, existiendo una interacción entre los diversos elementos constitutivos de la estructura, incluida la cimentación sobre el terreno.
De la misma forma que en un puente resulta fundamental conocer, no solamente el comportamiento interno de la estructura, sino también su relación con el medio exterior (cimentación), en la odontología se requiere conocer el funcionamiento

estructural de la propia prótesis, al igual que el tablero de los puentes, los dientes (pilas de los puentes) y la reacción del hueso, a la manera de la cimentación de una obra de ingeniería civil.

Existe una similitud, entre la odontología y la ingeniería, no solamente en el orden conceptual, sino también en la terminología. El término "puente" es común y existe similitud entre el concepto de pilas, con los implantes o pilares. Los puentes pueden ser de vanos isostáticos, hiperestáticos y en algunos casos existen tramos en cantilever, voladizo o extensión, cuya terminología también coincide. Existe un marcado paralelismo entre un gran puente, de hormigón o acero, realizado por la ingeniería civil y el elemento a pequeña escala, propio de la odontología constituido por un puente protésico.

e) Estructura, como tal, de la prótesis.

Las prótesis fijas y removibles están hechas de materiales inorgánicos. Para su diseño se podría aplicar el análisis estructural mecánico. Existen trabajos acerca de refuerzos en prótesis completa colocando alambres y otros materiales; resinas y fibras acetáticas. Desde el punto de vista estructural, se trata de trabajos poco profundos, más bien de carácter empírico, para los que no se lleva a cabo, con rigor, un análisis estructural. Se precisa, una actuación en tal sentido.

f) Efectos de los problemas oclusales sobre la patología de la articulación temporomandibular.

Este tema corresponde a la aplicación llevada a cabo y que se describe en el presente artículo.

Si observamos que la mandíbula está sujeta al resto del cráneo mediante la ATM (articulación temporomandibular) y la musculatura asociada, no podemos considerarla independientemente, a efectos estructurales, ya que existe una vinculación con el resto del cráneo.

El estudio realizado ha tenido por objeto conocer las reacciones de apoyo de la mandíbula sobre el cráneo, como consecuencia de la existencia de problemas oclusales y establecer su diferencia, comparándolas con los casos en que no existen dichos problemas. La magnitud y dirección de las reacciones de apoyo puede guardar relación con los distintos tipos de trastornos de la articulación detectados clínicamente.

Anteriormente a la realización del trabajo que se describirá a continuación, se habían formulado explicaciones simplistas muy alejadas de la realidad, para poder explicar los fenómenos clínicos observados. El objeto del estudio realizado mediante análisis estructural ha consistido en la determinación de las fuerzas de reacción y la correlación entre las mismas y la posible patología asociada a los problemas oclusales.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES QUE CONSTITUYEN LA ESTRUCTURA MANDIBULAR

La aplicación de técnicas de ingeniería civil a la odontología encuentra un primer escollo por el hecho de que los materiales que constituyen la estructura mandibular son distintos a los que se emplean en ingeniería civil como son el hormigón, acero, fibras, etc.

Existen marcadas diferencias entre las propiedades mecánicas de los materiales orgánicos y los que se utilizan en las obras de ingeniería. La implementación de técnicas de ingeniería civil a la odontología precisa establecer unas consideraciones adicionales, por el hecho de que no se pueden aplicar de forma inmediata la metodología usual en ingeniería a los problemas propios de la odontología, debido a las diferencias existentes entre las características de los materiales, objeto del estudio.

Entre las diferencias existentes entre el material óseo y los materiales habitualmente utilizados en construcción, tales como el hormigón o el acero, cabe citar en primer lugar, la respuesta frente a la aplicación de cargas exteriores, manifestada por la relación entre tensiones y deformaciones y por tanto, en la consideración del Módulo de Elasticidad y Módulo de Poisson.

En ingeniería civil, las condiciones de trabajo de los materiales estructurales en situación de servicio son tales, que en la mayor parte de los casos, el análisis estructural se realiza como si fuesen perfectamente elásticos y con un comportamiento lineal, tanto en el aspecto material, propiamente dicho, como en el conjunto de la estructura. Hoy en día, se posee una amplia información relativa a los materiales de construcción, como consecuencia de los ensayos de laboratorio que permanentemente se están realizando, así como el comportamiento real de obras realizadas, que se encuentran en estado de servicio².

Las variaciones estructurales a lo largo del tiempo, motivadas por la evolución de las características internas y los fenómenos reológicos implican un incremento en el grado de complejidad de los cálculos a realizar, por lo que las técnicas de análisis se encuentran en proceso de constante revisión y actualización, al objeto de conocer con la mayor exactitud posible las variaciones estructurales a lo largo del tiempo.

Asimismo, el cálculo no lineal surge como una necesidad de conseguir una mayor precisión en los resultados, una vez que se posee suficiente conocimiento y metodología como para afirmar que el análisis estructural en régimen elástico y lineal se encuentra aceptablemente dominado por los profesionales, en los momentos actuales. Este último hecho puede considerarse como una sólida base que soporta la complejidad y permite afrontar la resolución de las incógnitas que se plantean a lo largo de los análisis que se efectúan en cálculo no lineal.

Una vez formuladas las anteriores consideraciones relativas al estado actual de las técnicas propias de análisis estructural de elementos de la ingeniería civil, vamos a estudiar el caso paralelo en su aplicación a la odontología.

En odontología, la valoración del módulo de elasticidad resulta incierta, por el hecho de que existe una marcada diferencia entre los huesos de seres vivos y de cadáveres. Si bien se han desarrollado ensayos de laboratorio y se han determinado diagramas tensión-deformación en elementos óseos, el módulo de elasticidad no es representativo

de la realidad, ya que poco tiempo después de la muerte cambia completamente el comportamiento elástico, en el supuesto de que el material fuese realmente elástico. El primer escollo que nos encontramos es el desconocimiento de lo que es el módulo de elasticidad de este material. Algunas pruebas hechas en animales, muestran otros parámetros de cambio como son la temperatura, la edad, etc.

El módulo de elasticidad, o mejor dicho, el módulo de deformación, tiene unas variaciones importantes y por tanto, ello representa un cierto grado de error en las evaluaciones que queramos hacer a partir de un análisis realizado dentro del dominio de la elasticidad.

A ello hay que añadir la circunstancia de que el material de los huesos no es isótropo. La anisotropía existe en tres dimensiones y se manifiesta, no como una ley fácilmente analizable, sino que en cada punto existen distintas anisotropías, lo cual presenta dificultades para realizar una modelación matemática y una discretización de la estructura interior para su análisis con el método de elementos finitos.

Existen referencias en distintos trabajos en los que se ha intentado evaluar con razonable aproximación el módulo de elasticidad. Podemos decir que conocemos el orden de la magnitud en algunos casos y sabemos que podemos acotar unos valores máximos y mínimos para una determinada dirección.

A título de referencia, mencionamos algunos valores obtenidos por diversos autores a lo largo de modernos métodos de exploración:

- Según Williams y Edmundson, 1984³

	Módulo de Young	Módulo de Poisson
Hueso cortical	$3.4 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$	0.26
Hueso esponjoso	$1.37 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$	0.38

- Según Tanne, 1987³

	Módulo de Young	Módulo de Poisson
Hueso esponjoso	$1.4 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$	0.15

- Según J.C. Ferré⁴ se expresan los siguientes valores medios

Módulo de Young	$1.67 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
Límite elástico	70 N/mm^2
Carga de rotura	100 N/mm^2
Deformación de rotura	0.015

Existen otros fenómenos similares a los que se observan en las estructuras de ingeniería civil. Aparte de la consideración de las cargas instantáneas y la dificultad para su análisis, dada la incertidumbre en la determinación del módulo de deformación, debe tenerse en cuenta la respuesta estructural y el comportamiento a lo largo del tiempo, habida cuenta de la evolución de las deformaciones.

En las estructuras propias de la ingeniería civil se considera el fenómeno de la fluencia y relajación en el acero, expresado como la evolución de la deformación del material bajo una carga mantenida⁵. En biología caben, asimismo, las mismas consideraciones, ya que todavía son más acusadas las deformaciones del elemento óseo bajo carga mantenida, tal como ocurre en ortodoncia.

Podríamos distinguir dos clases de fluencia, una de ellas muy similar a la de ingeniería civil; puramente física, es decir la evolución de deformaciones diferidas bajo una carga mantenida en un material de tipo inorgánico. A ello hay que añadir una fluencia que podemos llamar biológica, por el hecho de que como consecuencia de tensiones anómalas, el organismo reacciona con cambios en la estructura física del propio material. Es conocido el hecho de que en el lugar donde existen fuertes tensiones localizadas de compresión, se produce una degradación de la estructura y una posterior modificación a la manera de reacción de defensa del organismo.

En las zonas de un hueso en que, siguiendo los criterios de ingeniería diríamos que existen tensiones de tracción, se produce una reposición ulterior de la propia materia ósea con lo cual, hay una especie de inyección de una materia resistente que cambia a su vez la estructura primitiva.

Esta fluencia biológica es prácticamente imposible de predecir y de cuantificar, por lo que podemos afirmar que un estudio similar a los que se llevan a cabo en ingeniería civil solamente se puede hacer con relativo rigor para cargas totalmente instantáneas en un momento determinado. Para un cálculo o un análisis bajo cargas mantenidas y movimientos diferidos, difícilmente podrá tener un cierto rigor. Si las cargas son relativamente pequeñas, podríamos admitir con una relativa aproximación que la estructura ósea se comporta bastante bien dentro de los dominios de la elasticidad y admitir para el material óseo un diagrama lineal tensiones-deformaciones.

Las anisotropías del material, perfectamente constatadas, introducirán, sin duda, un grado de error, cuya magnitud dependerá del tipo de análisis que se vaya a realizar. Todo estudio tendente a determinar el estado tensional por elementos finitos está sujeto a unas incógnitas y por tanto, a unas imprecisiones, puesto que la relación tensiones-deformaciones depende de la dirección de las tensiones y por tanto la consideración de un material elástico y lineal, puede conducir a errores y a la obtención de resultados alejados de la realidad.

Ello significa que cualquier conclusión desprendida de un estudio de elementos finitos, como tal, hay que adoptarla hoy en día con cierta reserva o las conclusiones deben ser tratadas con prudencia⁶.

ESTUDIO DE LAS INTERFERENCIAS OCLUSALES. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO

a) Consideraciones acerca de la articulación temporomandibular.

En las articulaciones del organismo humano existen grandes diferencias de unas a otras, de acuerdo con las funciones que realizan. Según el trabajo que tienen que ejercer, actúan músculos de diferente potencia, existen ligamentos con tensiones distintas, sinoviales y discos articulares con unas estructuras y formas idóneas para la gran variedad de movimientos de cada una de ellas. Vemos pues, que cada articulación es un elemento altamente diferenciado, con una gran capacidad para realizar su función, según la zona del cuerpo donde esté colocada.

La articulación temporomandibular, tiene una serie de elementos diferenciales que debemos tenerlos muy presentes para el estudio de su función y sus trastornos. En primer lugar tenemos la finura de movimientos que ya fueron descritos por Posselt⁷ y perfectamente definidos en un esquema, que ha sido reproducido en multitud de publicaciones.

Un aspecto, ya muy diferenciado de la ATM con otras articulaciones, es la reciprocidad de movimientos existentes entre las dos ATM. Siempre que se mueve una, hay un movimiento en la otra. Este movimiento no es simétrico, sino que tiene características propias en cada una de las articulaciones.

Hay que destacar el hecho de que el aspecto por el que la ATM es completamente diferente del resto, es que en uno de los extremos del movimiento, la oclusión, presenta un final preciso y fuerte, como es el contacto de los dientes. Este contacto presenta, además una serie de particularidades que deben ser tenidas en cuenta: en primer lugar, el umbral de sensibilidad al contacto es de una gran finura ya que distingue los grosores superiores a 10 micras. Además, este contacto no sólo se ejerce en una posición final de cierre, sino que la mandíbula tiene movimientos de lateralidad, que en función del signo del ángulo de contacto se clasifican en odontología de la siguiente forma:

-Máxima intercuspidadación

-Movimientos "de trabajo" (hacia el lado donde se desvía la mandíbula en el movimiento de masticación)

-Movimientos de "no trabajo" (hacia el lado contrario del anterior)

-Movimientos de relación céntrica a máxima intercuspidadación, o sea desde una posición más posterior en la que los dientes están completamente interdigitados

Si el contacto de los dientes en esta serie de movimientos no es correcto, entramos en la oclusión traumática de características perjudiciales para el sistema craneomandibular. Así pues conocemos una serie de signos y síntomas que son causados por la presencia de estos contactos anómalos, las interferencias y prematuridades, sin embargo, la causa última de esta patología la desconocemos, aunque ha habido intentos meritorios para desentrañar la biomecánica de esta articulación.

- b) Obtención de fuerzas de reacción existentes en los cóndilos, como elementos de apoyo de la mandíbula. Precedentes históricos.

Hasta la fecha, existía un vacío en lo que concierne a la justificación de la influencia de las anomalías oclusales en cuanto a los trastornos de la ATM. El objeto del trabajo desarrollado consiste precisamente en la determinación de las reacciones de apoyo de una estructura hacia el exterior mediante un método basado en el análisis estructural.

Anteriormente, se había intentado justificar la patología con esquemas simplistas, más o menos intuitivos, intentando asociar la mandíbula a una serie de palancas de distintos géneros, asociadas de una particular forma, pretendiendo con ello justificar el mecanismo estructural y la evolución de los problemas derivados de las anomalías oclusales.

Una interferencia, definida como un contacto oclusal anómalo, produce una fuerza de reacción; no solamente en un solo cóndilo sino en los dos, siendo ambas de distinta intensidad y dirección, ya que se trata de una estructura de carácter tridimensional, por lo cual, la aplicación de cualquier sistema simplista basado en la actuación de una o más palancas está totalmente fuera de la realidad. Sin embargo, hasta la fecha, las explicaciones en odontología mostradas en disciplinas académicas están fundamentadas en este último concepto tan simple, que carece de justificación en toda evaluación propia de la estática estructural.

La primera información que encontramos en la literatura es la de Gysi⁸ refiriendo la mandíbula como una palanca de tercer género (Figura 1).

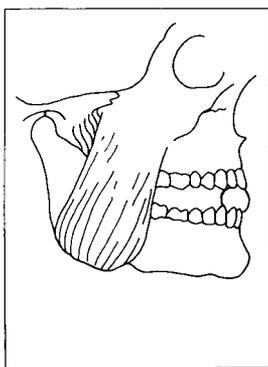


Figura 1.

A partir de la fecha de la publicación de Gysi, y han pasado setenta años, nos encontramos continuamente con citas de este género, ya sea rubricando lo dicho anteriormente, o bien explicando el cambio de género o clase de palanca de primera a segunda clase, pues “lo frecuente es masticar por un lado, y la reacción se coloca entre el punto de apoyo condíleo y la potencia muscular”⁹. Citamos esta reciente afirmación, como resumen a lo que constatamos durante años y que básicamente

se reducen a matizar la primera observación realizada hace ya mucho tiempo. La simple relación de estas opiniones haría interminable la bibliografía de este artículo, pues en odontología, en cualquier punto donde pueda observarse una basculación, inmediatamente se asocia la palanca con las fuerzas y el movimiento, cuando en realidad hay que tener en cuenta muchos más parámetros y consideraciones de tipo cualitativo.

Recientemente, Huffmann y Regenos¹⁰ explicaron mediante la ley de la palanca, la actuación de las interferencias oclusales en el sistema estomatognático.

En unos esquemas en dos planos explican en primer lugar (Figuras 2 y 3) la observación clásica de Gysi: "Tenemos el fulcro en el cóndilo, la acción viene representada por el vector muscular de los elevadores de la mandíbula y la reacción o trabajo se realiza en los dientes".

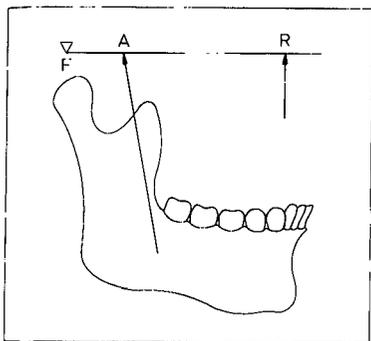


Figura 2.

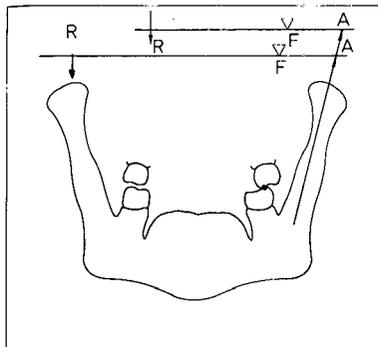


Figura 3.

"Si observamos una prematuridad en protrusiva (Figura 4), el fulcro se desplaza a ella y se ejerce una tensión mayor sobre los dientes pues ahora tenemos una palanca de clase I, y el cóndilo se desplaza hacia abajo".

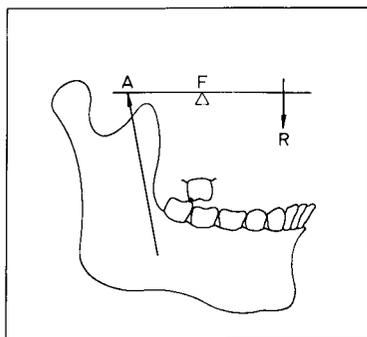


Figura 4.

“Si la prematuridad es en relación céntrica, se forman dos palancas (Figura 5), una haciendo tensión sobre los dientes y la otra reasentando el cóndilo en la cavidad”.
 “Si el contacto es en no trabajo (Figura 6), se desarrolla una palanca de clase II”.
 “Si el contacto es fuerte se desarrollan palancas de clase I que perjudican a la ATM y los dientes” (Figura 7).

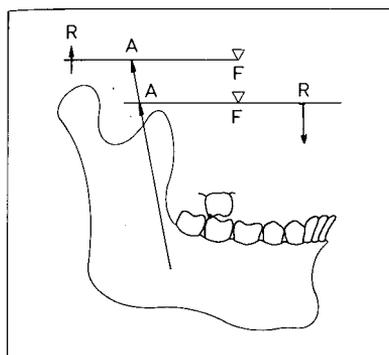


Figura 5.

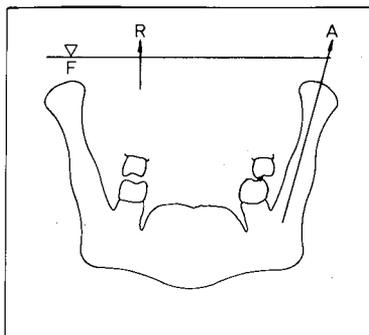


Figura 6.

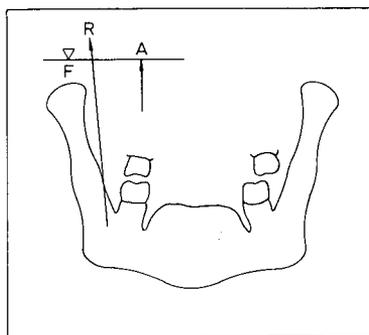


Figura 7.

De todo ello los autores intentan justificar que, debido a las prematuridades se producen los hechos siguientes:

“desplazamiento hacia abajo del cóndilo forzándolo”

“tensión en los dientes anteriores, sobre todo, en los superiores”

“fulcros perjudiciales”¹

Realmente nos encontramos con que los argumentos justificativos de los efectos antedichos no son válidos, desde un punto de vista de consideración estructural. La asociación de diversas palancas enlazadas una a una por articulaciones inexistentes en realidad, constituyendo un conjunto que en sí no sería una estructura como tal, sino un mecanismo, nada tiene que ver con el elemento rígido tridimensional constituido por la mandíbula, vinculado exteriormente por los cóndilos y por la acción de los músculos, que a la vez de introducir fuerzas, actúan como elementos de soporte.

c) Descripción del trabajo realizado para la obtención de los efectos de las interferencias oclusales en el comportamiento de la articulación temporomandibular.

El objetivo del trabajo ha consistido en determinar las reacciones de apoyo en los cóndilos producidas por la existencia de interferencias. Este contacto anómalo sometido puede ser de distinto tipo, en función de los movimientos de la mandíbula y el ángulo de ataque existente entre las superficies de contacto de la parte inferior y superior.

Ello se ha realizado, modelizando la mandíbula como una estructura en la que el análisis estructural ha tenido un único objeto, la determinación de las reacciones de apoyo, mediante el cálculo estático y en condiciones de carga instantánea. Todos los aspectos citados anteriormente, derivados de la incertidumbre en el conocimiento del módulo de elasticidad, comportamiento a lo largo del tiempo, anisotropía, etc., apenas ejercen importancia en lo referente a la determinación del sistema de reacciones de apoyo, que debe ser equivalente y de signo contrario al de las fuerzas actuantes, por los músculos. Se ha tratado únicamente de conseguir la distribución y valoración de las fuerzas de reacción en los cóndilos que en cada uno de los dos, es radicalmente distinta en el momento de producirse una interferencia. Nuestro estudio ha estado encaminado a conocer las reacciones de apoyo mandibulares, asumiendo la hipótesis de que el material de la mandíbula se encuentra dentro de los dominios de la elasticidad, lo cual es razonable, debido a que suponemos que las tensiones de mandíbula no son elevadas, o dicho de otra forma, están alejadas de la carga de rotura o límite elástico, que solo serían propias de una situación traumática, que nada tiene que ver con la forma de actuar la mandíbula en la vida normal en el momento de producirse una interferencia oclusal. Ello significa que las reacciones de apoyo de la mandíbula apenas están relacionadas con la propia rigidez relativa de todos los elementos que constituyen la estructura mandibular. El cálculo a realizar, que si bien sería de una gran complejidad en el estudio de determinación de tensiones internas, puede ser enormemente simple por el hecho de conseguir únicamente la determinación de las reacciones de apoyo.

La estructura mandibular se ha discretizado en un conjunto espacial de elementos

barra, con seis grados de libertad, perfectamente asociados entre sí con unión rígida y con la geometría obtenida a partir del cráneo de un cadáver, que ha servido de modelo (Figura 8).

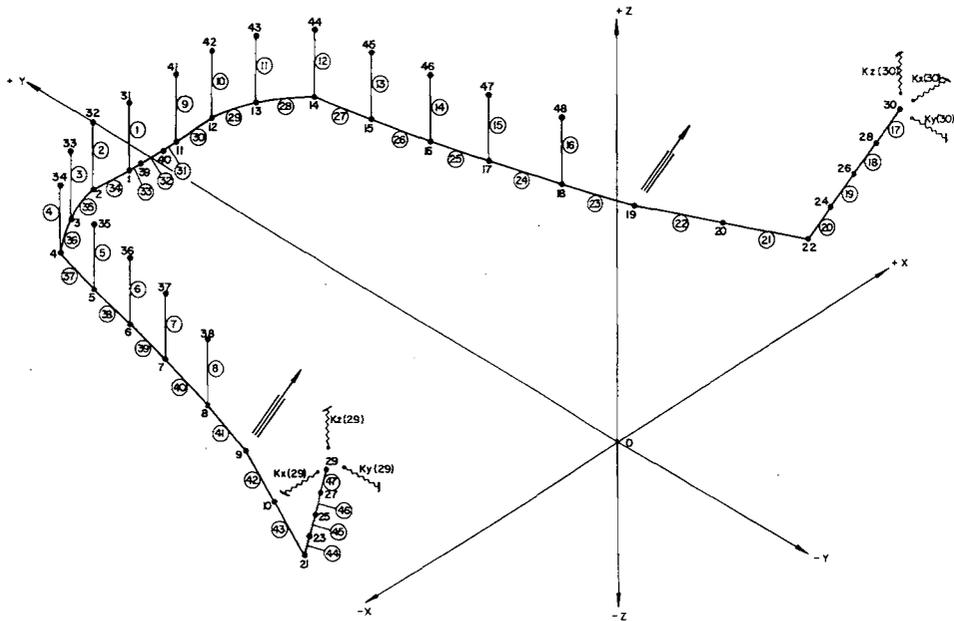


Figura 8.

Se ha considerado un material homogéneo e isótropo, con lo cual ha sido posible realizar el análisis utilizando un programa matricial de cálculo de estructuras.

Las acciones exteriores son unas fuerzas causadas por los músculos. En la entrada de datos del proceso se ha definido mediante sus componentes, según los tres ejes coordenados, obtenidas en función de los ángulos de ataque y deducidas a partir de la observación de la anatomía real del modelo utilizado.

Las condiciones de contorno de la estructura mandibular, determinadas por la vinculación en la zona de los cóndilos, se han representado mediante la disposición de apoyos con coacción elástica según los tres ejes perpendiculares de referencia. El valor de los coeficientes de rigidez en cada uno de los apoyos se ha determinado mediante diversas aproximaciones sucesivas. Las posibilidades de repetir el cálculo con el ordenador, en escaso espacio de tiempo, variando cada vez la relación entre dichos coeficientes, ha permitido captar perfectamente la sensibilidad de la estructura y la importancia que pueda tener la vinculación elástica y la rigidez que ofrece, según la dirección de la reacción, el cóndilo sobre la mandíbula. Se han realizado, por tanto, multitud de cálculos de aproximación para determinar en que medida variaban las reacciones en función de estos propios valores.

Los cálculos se han realizado en dos etapas distintas. En la primera de ellas, se ha realizado el análisis teniendo en cuenta distintos ángulos de ataque y posición de

las interferencias y se ha supuesto idéntica rigidez en todos los apoyos.

La rigidez de los apoyos es notablemente superior en el caso de que la mandíbula “empuje” al cóndilo, es decir contra el hueso, frente al caso de que “traccione” de él a través del sistema de tendones. Por tal motivo, la primera etapa del cálculo ha servido para determinar en que apoyos elásticos se producía “empuje”, o bien “tracción”. Una vez obtenidos los resultados, mediante la observación del signo de la salida del ordenador, se ha modificado el valor de la rigidez de los apoyos, incrementando notablemente la de aquellos que estaban comprimidos, frente a los que estaban sometidos a tracción.

En la segunda etapa se ha podido apreciar una cierta diferencia en los resultados, aunque no sustancial, lo cual indica que la consideración de la rigidez, tanto en la estructura como en la constitución de los apoyos, poco influye en la distribución de las reacciones de apoyo.

Sin embargo, se ha podido constatar que la distribución de las fuerzas de reacción está grandemente influenciada por la posición y ángulo de ataque de las superficies donde se producen las interferencias.

El sistema ha permitido determinar y comparar las magnitudes de las reacciones de los cóndilos, asociados a desplazamientos en cada uno de los casos de interferencias en los movimientos definidos en el apartado a) de éste capítulo, que expresados en la terminología propia de odontología, corresponden a las siguientes situaciones:

-Máxima intercuspidadación

-Trabajo

-No trabajo

-De relación céntrica a máxima intercuspidadación

d) Resultados obtenidos

Se indica únicamente a continuación algunos detalles acerca de la modelización efectuada y un resumen de resultados representativos de los valores significativos que tienen que ver con los objetivos perseguidos en el estudio.

Las magnitudes absolutas de las reacciones obtenidas, consideradas aisladamente, no son indicativas del comportamiento estructural en lo que concierne al objeto del estudio. Las consecuencias se deducen al considerar los valores obtenidos en los distintos estados de interferencias y su comparación con los resultados obtenidos en el cálculo con hipótesis de máxima intercuspidadación. Hemos estudiado una hipótesis para cada uno de los casos de contacto en todos los dientes y hemos determinado cuáles son las correspondientes reacciones de apoyo y los desplazamientos en los cóndilos.

Los resultados numéricos, en valor absoluto, no deben ser tenidos en cuenta, así como las unidades que expresan las coordenadas de los nudos. Lo que importa realmente es la congruencia entre unidades, para poder establecer la comparación y la relación entre los distintos resultados. El interés de los resultados consiste en la posibilidad de comparar lo que ocurre en los cóndilos entre la situación de máxima intercuspidadación y cualquier otra con interferencias.

Los resultados se han resumido en unos gráficos de gran simplicidad, a fin de establecer las oportunas comparaciones y obtener las correspondientes conclusiones (Figuras 9 y 10).

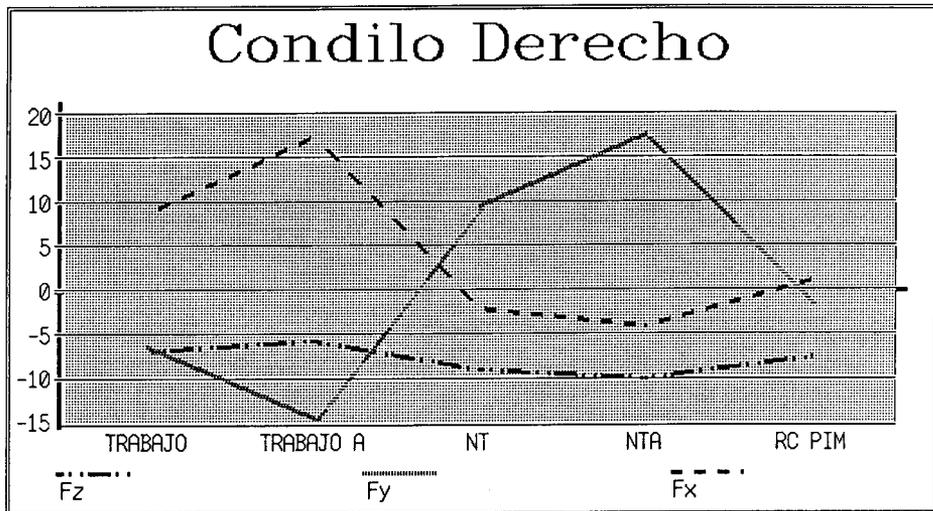


Figura 9.

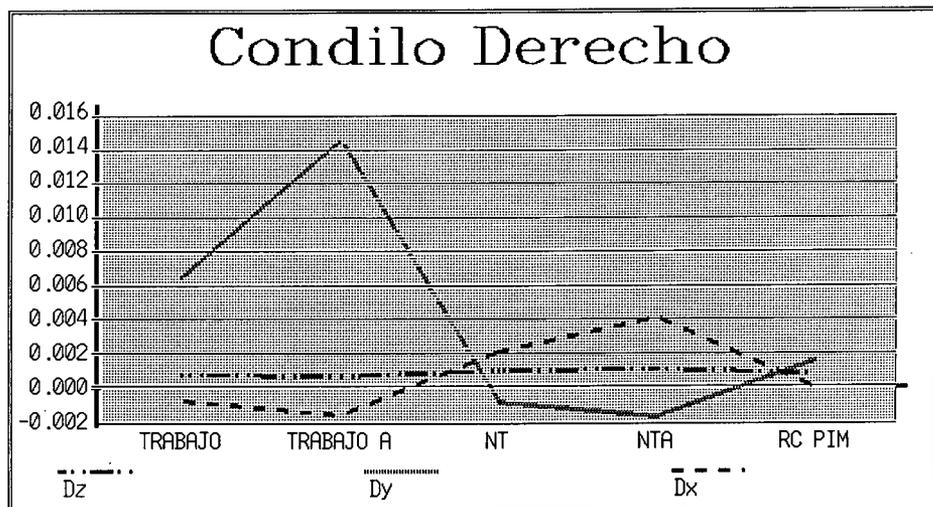


Figura 10.

CONCLUSIONES APORTADAS A LA ODONTOLOGÍA COMO CONSECUENCIA DEL TRABAJO REALIZADO

He aquí un resumen de los resultados y conclusiones deducidas a partir del análisis estructural desarrollado:

- a) Las interferencias oclusales producen en los cóndilos, desplazamientos y fuerzas de reacción en los tres ejes del espacio.
Ello guarda relación con la experiencia clínica, a juzgar por los efectos apreciados en la patología observada.
- b) En sentido vertical, los desplazamientos y fuerzas de reacción son de poca intensidad.
- c) Tanto los desplazamientos, como las fuerzas de reacción, aumentan de manera considerable, cuanto mayor sea el ángulo entre las superficies de contacto de las interferencias.
- d) La interferencia más perjudicial, la de no trabajo, produce en cóndilo contrario un desplazamiento posterior y una reacción de gran intensidad. En el cóndilo del mismo lado, se produce un desplazamiento anterior y una reacción de magnitud similar.
- e) En la interferencia de la relación céntrica a máxima intercuspidación apenas hay variación de desplazamientos y fuerzas.
- f) Tanto los desplazamientos como las fuerzas son menores cuanto mayor es la distancia interferencia-cóndilo.

Estableciendo una apreciación global, puede afirmarse que en todos los casos existe correspondencia entre los resultados numéricos deducidos del análisis estructural y la experiencia clínica relativa a las consecuencias de las interferencias.

Se ha observado que existe una correspondencia entre la amplitud de los desplazamientos y fuerzas de reacción con las interferencias de mayor significación patológica. La observación realizada y la conclusión expresada en la forma de que a mayor ángulo entre las superficies de contacto de las interferencias, aumentan los desplazamientos y fuerzas de reacción, merece la realización de estudios posteriores, ya que es un tema que por cuestiones de procedimiento, no se ha estudiado en clínica.

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL A LA ODONTOLOGÍA. CONCLUSIONES DE TIPO GENERAL

Las técnicas propias de ingeniería civil, tales como el análisis estructural pueden ser enormemente útiles en odontología.

Hay que profundizar en un mayor conocimiento de los materiales para poder trabajar con más rigor, utilizando las técnicas propias del análisis con elementos finitos para el estudio de las propiedades internas de la estructura mandibular.

Como consecuencia de la aportación realizada en el campo de la odontología, gracias al análisis estructural, vemos la posibilidad de que en tal sentido se puede seguir investigando para ampliar el conocimiento en el funcionamiento de la estructura biorresistente de la mandíbula y resolver la gran cantidad de incógnitas que existen acerca del tema tratado.

Estimamos de gran utilidad la utilización de estas técnicas y hacemos una llamada a los organismos de investigación para que puedan entrar en estos temas y participar en el avance de la odontología.

REFERENCIAS

- 1.. J. Cobo, A. Sicilia, J. Arguelles, D. Suarez and M. Vijande, "Initial Stress Induced in Periodontal Tissue with Diverse Degrees of Bone Loss by an Orthodontic Force: Tridimensional Analysis by Means of the Elemental Method", *American Journal Orthod Dentofac Orthop*, Vol. **104**, pp. 448-54, 1993.
- 2.. A. Samartín Quiroga, "*Cálculo de estructuras de puentes de hormigón*", Rueda, Madrid, 1983
- 3.. N. Mc. Guinness, A. Wilson, M. Jones, J. Middleton and N. Robertson, "The Angle Orthodontist", Vol. **62**, pp. 15-22, 1992.
- 4.. J.C. Ferre, "Moyens d'exploration modernes de l'osteoarchitecture mandibulaire", *Actual. Odontoestomatol.*, Vol. **40**. pp. 713-34, 1986.
- 5.. F. Leonhardt. "*Estructuras de hormigón armado*", Ateneo, Madrid, 1986.
- 6.. E. Oñate, "*Cálculo de estructuras por el método de los elementos finitos. Análisis estático lineal*", CIMNE, Barcelona, 1992.
- 7.. U. Posselt, "*Fisiología de la oclusión y rehabilitación*", Jims, Barcelona, 1973.
- 8.. A. Gysi, "Studies on the Leverage Problem of the Mandible", *Dental Digest*, Vol. **27**, pp. 144-203, 1921.
- 9.. A. Gonzalez y M. Royo, "Nuevos aspectos de la filosofía de la oclusión dentaria", *Revista Europea de Odontoestomatología*, Vol. **4**, pp. 261-269, 1990.
- 10.. R.W. Hufmann and J.W. Regenos, "*Principles of Occlusion*", The Ohio State University, Ohio, 1973.
- 11.. Mc. Horris, "Focus on anterior guidance", "*The Journal of Gnathology*", Vol. **8**, pp. 3-13, 1989.