



CCADET

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Informe Técnico Interno

Desarrollo de un sistema experto en reconocimiento y determinación de Trastornos Temporomandibulares (TTM)

Autores:

M en C. Luis Ochoa Toledo

M en I. Alberto Hananel Baigorria

Dr. Nicolás Ceferino Kemper Valverde

Dra. Fabiola Miroslava Villalobos Castaldi

Fecha

Noviembre 2015

Financiamiento interno

Título: Desarrollo de un sistema experto en reconocimiento y determinación de Trastornos Temporomandibulares (TTM)

Autores: Luis Ochoa Toledo¹
Alberto Hananel Baigorria²
Nicolás Ceferino Kemper Valverde¹
Fabiola Miroslava Villalobos Castaldi¹

Afiliación ¹ **CCADET UNAM**
² **Universidad de Granada**

Resumen

Según la American Academy of Orofacial Pain (AAOP) los Trastornos Temporomandibulares (TTM), son definidos como un término colectivo que abarca diversos y numerosos problemas que involucran los músculos masticatorios, la Articulación Temporomandibular (ATM) y estructuras asociadas, esto significa que cualquier factor que modifique funcionalmente alguno de los elementos básicos del sistema, ya sea a nivel de articulaciones, de dientes, del sistema neuromuscular o de ligamentos, influye directamente sobre los otros, logrando desencadenar algún tipo de TTM.

El diagnóstico de los Trastornos Temporomandibulares ha sido un tema de mucha discusión desde que se planteó esta patología. El funcionamiento de la Articulación Temporomandibular ha sido sujeto de muchos estudios desde hace más de un siglo, y todavía, a pesar de la voluminosa literatura, la etiología de los TTM es aún un problema en discusión.

Se hace necesario por tanto efectuar una modelización matemática de estos problemas para que los científicos puedan categorizar la severidad de un problema en un individuo, examinar la incidencia del problema en una población específica, medir la efectividad de una terapia dada, y finalmente, establecer estrategias de prevención. Esta modelización matemática se realizaría en el marco de la Teoría de la Aproximación y la resolución numérica de Ecuaciones en Derivadas Parciales, las cuales integrarían componentes difusas. Como objetivos de este trabajo se tiene: (1) Crear un motor de inferencia basado en Lógica Difusa que permita utilizar la experiencia del odontólogo experto para diagnosticar y pronosticar un Trastorno Temporomandibular y su avance. (2) Modelizar en una plataforma de CAE las representaciones tridimensionales que simulen las zonas comprometidas por las fuerzas o factores que ocasionan el trastorno en la mandíbula, músculos y articulaciones para su posterior pronóstico de la sintomatología y tratamiento del mismo utilizando las componentes resultantes del sistema basado en Lógica Difusa. Como resultados esperados de este trabajo se pretende: (1) Un estudio detallado de las bases de un sistema experto y de la Inteligencia Artificial. (2) Discusión y análisis de la conveniencia de desarrollar un sistema experto en reconocimiento y determinación de TTM. (3) Desarrollo de un sistema experto básico para su posterior desarrollo, depuración y perfeccionamiento.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN	4
1. LOS TRASTORNOS TEMPOROMANDIBULARES	6
1.1. EL PROBLEMA ODONTOLÓGICO	6
1.2. ANÁLISIS FACTORIAL EN TTM	8
1.2.1. PRELIMINARES	8
1.2.1.1. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS Y CONCEPTOS	8
1.2.1.2. PROCEDIMIENTO SEGUIDO POR EL ANÁLISIS FACTORIAL	10
1.2.1.3. PROCEDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE LOS FACTORES	10
1.2.1.4. ANÁLISIS PARALELO	11
1.2.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS	12
1.2.3. PROCEDIMIENTO PREVIO	12
1.2.4. ANÁLISIS FACTORIAL	12
1.2.5. INFORME DEL ANÁLISIS	13
1.2.6. NOMENCLATURA DE FACTORES	16
1.2.7. DESCRIPCIÓN DE FACTORES	17
2. CREACION DEL SISTEMA DIFUSO	20
2.1. PRELIMINARES	20
2.1.1. FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA EXPERTO	21
2.1.2. EMPLEO DE LA LÓGICA DIFUSA	21
2.2. CONJUNTOS DIFUSOS	22
2.2.1. REPRESENTACIÓN DE UN CONJUNTO DIFUSO	22
2.2.2. FUNCIÓN DE PERTENENCIA O MEMBRESÍA	22
2.2.2.1. PROPIEDADES DE LAS FUNCIONES DE PERTENENCIA	22
2.2.2.2. TIPOS DE FUNCIONES DE PERTENENCIA	23
2.3. PASOS PARA UN SISTEMA DIFUSO	26
2.3.1. PASO 1: DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES LINGÜÍSTICAS DIFUSAS	26
2.3.2. PASOS 2 Y 3: DEFINICIÓN DE RANGOS Y VALORES LINGÜÍSTICOS DE LAS VARIABLES Y ASIGNACIÓN DE FUNCIONES DE PERTENENCIA A LOS MISMOS	31
2.3.2.1. VARIABLES DE ENTRADA	31
2.3.2.2. VARIABLES DE SALIDA	39
2.3.3. PASO 4: CONSTRUCCIÓN DE BASE DE REGLAS	44
2.3.4. PASO 5: PRUEBAS DE SIMULACIÓN	48
3. EL MODELO DE TTM	54
3.1. PLANTEAMIENTO	54
3.2. SIMULACIÓN BIOMECÁNICA	58
4. CONCLUSIONES	67
5. BIBLIOGRAFIA	67

INTRODUCCIÓN

El estudio de trastornos Temporomandibulares ha sido el punto de partida de la idea original de este trabajo.

No habiendo a la fecha estudios ni información alguna de la modelización matemática de los trastornos Temporomandibulares, pero teniendo en cuenta más de un centenar de variables asociadas a los mismos, se inició la investigación con un primer estudio en estadística multivalente con el objetivo de manipular grupos focalizados de trastornos y evitar mirarlos bajo su conjetura global la cual por la complejidad de la misma era poco aconsejable de realizar un análisis serio debido a las diversas clasificaciones existentes y a los múltiples estudios nosológicos realizados, puramente ligados a índices odontológicos definidos mediante matemática precaria de promedios y/o ponderaciones de mediciones realizadas, sin llegar propiamente a la clasificación o entendimiento de los mismos, para lo que se eligió llevar a cabo un análisis factorial obteniendo patrones similares dentro de 11 grupos

Un primer paso para estudiar matemáticamente los trastornos Temporomandibulares requería de la construcción de un sistema informático basado en el diagnóstico de síntomas y signos para la determinación de la presencia de las variables relevantes en los 11 factores ya encontrados, pero se veía insuficiente siendo meramente un sistema clásico de gestión; dada la naturaleza variable de los examinadores y la de los sujetos examinados, la contratación de los resultados tenía implícito cierto grado de incertidumbre, por lo que el sistema debería adoptar la componente de inteligencia artificial. Es por ello que el sistema original se modificó, para la optimización de los resultados que se pudieran obtener, en un sistema experto difuso para el diagnóstico y posterior pronóstico de trastornos Temporomandibulares siendo aplicable a cualquier sujeto de prueba que cumpliera con los criterios de exclusión de la muestra. El sistema experto difuso facilita indicadores de membresía o pertenencia del avance de alguno(s) de los factores del trastorno al(a los) que el sujeto de prueba pudiera estar afecto, sin embargo como una herramienta era poco oportuna de uso por el común de los expertos en trastornos por no contar con una componente grafica o visual con la que los pacientes se vieran identificados, por lo que se procedió a construir un prototipo de mandíbula humana adaptable mediante CAD a cualquier individuo y estado del trastorno, para su evidente entendimiento y conexión con el sistema implementado y se pueda lograr un mejor diagnóstico del mismo.

La elección de un programa de diseño debería pasar por diferentes etapas para hacer el modelo lo más realista posible dentro de las limitaciones que eran advertidas desde su planteamiento en el proyecto original, ya que debería acoplar componentes físicas como fuerzas que iban a ser impuestas, propiedades de los materiales, y en especial de la geometría de las curvas utilizadas en su diseño bidimensional que deberían provenir de las numerosas tomografías del paciente antes de ser sollevadas para la formación del sólido, por lo que se decidió utilizar el software (SolidWorks) para el diseño de la mandíbula. El tratamiento del programa hacía referencia a curvas Spline y B-Spline, por lo que un siguiente paso fue realizar un estudio de los métodos de interpolación unidimensional haciendo énfasis en la interpolación polinómica, con sus respectivas variantes estructurales de definición por trozos, encontrando como alternativa ideal al problema de las limitaciones de la interpolación polinómica a los Splines, para lo que se desarrollaron los fundamentos

de la mejor aproximación de funciones sobre los mismos encontrando espacios funcionales adecuados en donde la solución de un problema por Splines podía ser discretizada y garantizar su convergencia numérica minimizando el error. Sin embargo, teniendo en cuenta que posteriormente la búsqueda no solo se limitaría a ser solución de un problema de aproximación sino a un problema de búsqueda de solución de una ecuación diferencial por las ecuaciones de movimiento que se encuentran inmersas en el problema se tuvo que estudiar un Spline que cumpliera con estas dos condiciones de manera simultánea, llamado Spline variacional el cual se estudió también en su versión discreta para su inminente generalización de curva variacional discreta a superficie variacional discreta. El estudio de los elementos finitos no fue extensivo más que a nivel de usuario en el programa FreeFem++ con la presentación de un modelo simple, pero realista construido por el equipo de investigación en odontología que trabajo con él, contrastando que los resultados clínicos eran los esperados de acuerdo a lo planteado matemáticamente con Splines, motivando el estudio completo del modelo tridimensional en espacios funcionales adecuados de una mandíbula sujeta a un trastorno Temporomandibular.

Es por ello que se presenta la construcción del modelo matemático de oclusión de un sujeto de prueba con algún trastorno Temporomandibular utilizando ecuaciones diferenciales parciales, cuya resolución y simulaciones numéricas dentro de los espacios funcionales adecuados son desarrolladas a partir de dos métodos completamente distintos que completan y complementan el estudio realizado, el primero basado en mallas (elementos finitos) y el segundo simplemente a partir de nodos apropiados (sin malla o meshless).

1. LOS TRASTORNOS TEMPOROMANDIBULARES

1.1. EL PROBLEMA ODONTOLÓGICO

Definición 1.1 (Trastorno Temporomandibular). Se llama trastorno Temporomandibular o simplemente TTM a un término colectivo que abarca diversos y numerosos problemas que involucran los músculos masticatorios, la Articulación Temporomandibular(ATM) y estructuras asociadas, esto es, según la American Academy of Orofacial Pain (AAOP), un TTM es un trastorno en el cual cualquier factor, que modifica funcionalmente alguno de los elementos básicos del sistema estomatognático, ya sea a nivel de articulaciones, de dientes, del sistema neuromuscular o de ligamentos, influye directamente sobre los otros factores.

El diagnóstico de TTM ha sido un tema de mucha discusión desde que se planteó esta patología. El funcionamiento de la ATM ha sido sujeto de muchos estudios desde hace más de un siglo, y todavía, a pesar de la voluminosa literatura, la etiología de los TTM es aún un problema en discusión en campo odontológico, y es planteado como un problema de evolución asociado a ecuaciones diferenciales elípticas en la variable espacial.

A pesar de las diferencias metodológicas de diversos estudios epidemiológicos parece haber un consenso en que los signos y síntomas de los TTM son comunes en la población general. La mayoría de estos estudios tienen dos limitaciones críticas, la falta de criterio operacional con demostrada fiabilidad científica para medir o evaluar los signos clínicos y síntomas de los TTM y la ausencia de un criterio claramente especificado para las diferentes condiciones del musculo y/o articulación o subtipos de TTM.

En 1996, la AAOP publicó nuevas normas sobre la clasificación de dolor Orofacial:

Los TTM son definidos como un término colectivo que abarca a un número de problemas clínicos que involucran la musculatura masticatoria, la ATM y las estructuras asociadas, o ambas. Estos son considerados como una sub clasificación de trastornos Musculo Esqueléticos.

Los TTM son caracterizados por la siguiente presentación clínica: dolor en los músculos de la masticación, en el área pre auricular y/o ATM que esta usualmente agravado por la manipulación o función, limitado rango de movimiento, movimiento mandibular asimétrico, y/o trabado y sonidos articulares descritos como chasquido, tronido o crepitación.

Las quejas más comunes incluyen dolor de cabeza, dolor de oído, y dolor Orofacial, así como también hipertrofia muscular masticatoria y desgaste oclusal anormal (Wadhwa L. et al, 1993). Quejas inexplicables incluyen tinnitus, oído tapado y pérdida de la audición.

Estudios epidemiológicos transversales de una población específica de no pacientes muestra que aproximadamente el 75% tiene al menos un signo y 33% tiene al menos un síntoma (Neill C. M., 1997); sin embargo, solo del 5% al 7%, se estima que necesitan tratamiento. Los datos de prevalencia de reportes clínicos revelaron una proporción mujer

hombre desde cuatro a uno hasta seis a uno, en personas que buscaban atención, principalmente entre la segunda y cuarta década de vida.

Es por estas razones que son necesarios los índices para que estos permitan a los investigadores categorizar la severidad de un problema en un individuo, examinar la incidencia del problema en una población específica, medir la efectividad de una terapia dada, y finalmente, sus estrategias de prevención. A través de los años al menos diez esquemas nosológicos (índices) para TTM han sido desarrollados. Sin existir un índice adecuado para definir los trastornos Temporomandibulares, fueron muchos los intentos, desde Organización Mundial de la Salud (OMS - 1962), Kruse (1965), Ramfjord (1969), Baume (1970), Moyers y Summers (1970), Carlos (1970), hasta que en 1972, Lundeen, Levitt y McKinney propusieron otra escala para diagnosticar TTM constituida de noventa y siete ítems dentro de un cuestionario dividido en diez partes: cinco escalas en donde se evalúan los síntomas físicos, tres de factores psicosociales, uno de no TTM y una escala global. Esta escala mide la intensidad de síntomas separando a los pacientes en dos categorías: con síntomas presentes y ausencia de síntomas (Lundeen T. et al, 1986).

Definición 1.2 (Índice de Friction). Se llama índice CraneoMandibular de Friction (ICM) al índice que permite medir de manera objetiva la severidad del problema en el movimiento mandibular, ruidos articulares y tensión muscular y articular, utilizando criterios claros y métodos clínicos simples y fáciles de calificar (Friction J. y Schiffman E., 1987), creado por el doctor James Friction en 1988 y validado en USA, que a su vez está compuesto de dos índices; el Índice de Disfunción dividido en dos ítems: movimientos mandibulares y ruidos en la articulación Temporomandibular, y el Índice de Palpación en donde se examinan diversos músculos de la cabeza y del cuello así como la ATM (García E. et al, 2000).

Los índices tienen como finalidad determinar la presencia o ausencia de algún tipo de TTM, y en el caso del ICM lo realiza en forma más detallada pero algo desordenada si se trata de determinar la existencia de problemas articulares, ya que en cada ítem de dicho índice se encuentran preguntas para evaluar la articulación, se examina la presencia o ausencia de clic recíproco, clic en apertura reproducible, clic reproducible solo en lateralidad, clic reproducible en cierre, clic de apertura no reproducible, crepitación fina o grosera y burbujeo (audible sin estetoscopio).

Los índices propuestos daban excelentes alternativas para seguir un procedimiento ordenado y correcto dentro del diagnóstico de los TTM, pero al momento de determinar el tratamiento y pronóstico de cada paciente, el diagnóstico dado no necesariamente correspondía a una diferencia marcada en el tipo de tratamiento a seguir. A partir de estos estudios se fueron presentando propuestas para reducir los extensos criterios, así como ítems que puedan conducir hacia un pronóstico de evolución de la patología.

Ninguno de los sistemas ha podido llegar al grado de reflejar a los TTM como una entidad clínica, solo describen la patología individualmente, por lo que se plantea estudiar la patología mediante Inteligencia Artificial.

Definición 1.3 (Sistema H). Se llama sistema H, al sistema experto difuso construido para la simplificación y sistematización del examen clínico de trastornos Temporomandibulares para su pronóstico y diagnóstico, desarrollado en este trabajo en la investigación (Hananel A., 2011).

El sistema H, de recolección de información de síntomas y signos de un paciente con TTM, basado en el índice CraneoMandibular de Friction y el examen oclusal, se desarrolló en Visual Basic, cuyo módulo de inteligencia artificial fue albergado en la ToolBox Fuzzy de MATLAB y el procesamiento de reducción de variables por análisis factorial en SPSS, cuyas reglas lógicas fueron construidas de acuerdo a diversos criterios, tomando en cuenta la experiencia de cada experto en TTM participante, sus estudios realizados en dicha especialidad, y las recomendaciones de la agrupación de variables del análisis factorial, siendo difusas, como es natural, por falta de consenso entre los mismos. Dicho sistema contempla, además, la visualización de las posibles progresiones patológicas que sigue un trastorno Temporomandibular mediante las representaciones Computed-Aided Design (CAD) y Computer-Aided Engineering (CAE), basadas en elementos finitos, realizadas en SolidWorks de la reconstrucción mandibular y simulación de desplazamientos y tensiones de una mandíbula sometida a las fuerzas que actúan sobre la misma, respectivamente, facilitando el examen odontológico para el pronóstico y diagnóstico de TTM y su posible tratamiento.

1.2. ANÁLISIS FACTORIAL EN TTM

1.2.1. PRELIMINARES

El Análisis Factorial es una técnica estadística de reducción de datos utilizada para explicar la variabilidad entre las variables observadas en términos de un número menor de variables no observadas llamadas factores. Las variables observadas se modelan como combinaciones lineales de factores añadiendo términos de error. Su importancia en este trabajo radica en su utilización para la creación de un modelo de fuerzas de tracción en un paciente con trastornos Temporomandibulares, por lo que solo se referenciarán los resultados de interés, sin entrar en detalles que pueden ser constatados rigurosamente en (Hananel A., 2011).

1.2.1.1. DEFINICION DE TERMINOS Y CONCEPTOS

Se denomina determinante (en el sentido del análisis factorial) al obtenido de la matriz de correlaciones, por lo general un escalar o un polinomio, que resulta de aplicar todos los productos posibles de una matriz y que a su vez es clasificable como bajo representando altas intercorrelaciones, nulo si algunas de las variables son linealmente dependientes y alto si representa altas correlaciones.

Se llama test de esfericidad de Bartlett a la prueba estadística que comprueba que la matriz de correlaciones se ajusta a la matriz identidad, es decir que se caracteriza por la ausencia de correlación significativa entre las variables, haciendo que el determinante de la matriz de correlaciones sea uno.

Se identifica mediante la formula

$$\chi^2 = -[n - 1 - \frac{1}{6}(2v + 5)] \log \|R\|$$

Donde n representa el tamaño muestral, v el número de variables, y R la matriz de correlaciones.

Dicho test pertenece a una prueba de hipótesis chi cuadrado por lo que de aceptarse la hipótesis nula ($p > 0.05$) ($p \equiv p\text{-valor}$), se debe entender que las variables no están intercorrelacionadas. Se utiliza de manera apropiada cuando el tamaño muestral es pequeño, como es el caso de la base de datos del sistema H.

Se denomina índice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) al estadístico multivalente definido como

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} \sum a_{ij}^2}$$

Donde r_{ij} representa a la correlación simple y a_{ij} a la correlación parcial.

Según Kaiser se podría definir algunos condicionales para su propio índice:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1.0 \geq KMO \geq 0.9 \rightarrow \text{Muy bueno.} \\ 0.9 \geq KMO \geq 0.8 \rightarrow \text{Meritorio.} \\ 0.8 \geq KMO \geq 0.7 \rightarrow \text{Mediano.} \\ 0.7 \geq KMO \geq 0.6 \rightarrow \text{Mediocre.} \\ 0.6 \geq KMO \geq 0.5 \rightarrow \text{Bajo pero aceptable.} \\ KMO \leq 0.5 \rightarrow \text{Inaceptable.} \end{array} \right.$$

Valores bajos del índice KMO desaconsejan teóricamente la utilización de Análisis Factorial, sin embargo una vez aceptado en la práctica, los resultados independientes de este mientras se encuentre sentido a los factores obtenidos del mismo análisis. En el análisis factorial realizado a la base de datos con la que trabajo el sistema H, el KMO cayó en la región de aceptación de acuerdo a los resultados mostrados posteriormente.

Se llama correlación anti-imagen al coeficiente que se define como el valor negativo del coeficiente de correlación parcial. Deberán existir pocos coeficientes altos de este tipo para que el análisis factorial sea razonable.

Se llama medida de adecuación de la muestra (MSA) al patrón numérico utilizado para definir si la muestra es adecuada o no cuantitativamente, definida mediante la formula

$$MSA_i = \frac{\sum_{j \neq i} r_{ij}^2}{\sum_{j \neq i} r_{ij}^2 + \sum_{j \neq i} a_{ij}^2}$$

Donde r_{ij} indica correlación simple y a_{ij} correlación parcial.

Valores bajos de esta medida desaconsejan la utilización del análisis factorial.

Se llama comunalidad a la proporción de la varianza explicada por los factores comunes en una variable. Se considera la suma de los pesos factoriales al cuadrado en cada una de las filas de la matriz y se le denota por h^2 .

El cuadrado de una carga factorial indica la proporción de la varianza explicada por un factor en una variable particular. La suma de los cuadrados de los pesos de las columnas se denomina auto valor (en el sentido del análisis factorial) e indica la cantidad total de varianza que explica ese factor para las variables consideradas como grupo.

Las cargas factoriales pueden tener como valor máximo uno, por tanto el valor máximo que puede alcanzar el auto valor es igual al número de variables.

1.2.1.2. PROCEDIMIENTO SEGUIDO POR EL ANÁLISIS FACTORIAL

- 1) Se calcula y examina la matriz de correlaciones entre todas las variables.
- 2) Se realiza la extracción de los factores necesarios para representar los datos.
- 3) Se efectúa opcionalmente la rotación de los factores con objeto de facilitar su interpretación.
- 4) Se calculan las puntuaciones factoriales de cada individuo.

1.2.1.3. PROCEDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE LOS FACTORES

A partir de una matriz de correlaciones, el análisis factorial extrae otra matriz que reproduce la primera de forma más sencilla. Esta nueva matriz se denomina matriz factorial $P = (p_{ij})$, donde sus elementos se pueden interpretar como índices de correlación entre el factor i y la variable j , aunque estrictamente solo son correlaciones cuando los factores no están correlacionados entre sí, es decir, son ortogonales. Estos coeficientes reciben el nombre de pesos, cargas, ponderaciones o saturaciones factoriales, y lo ideal es que cada variable se pueda tornar alta en un factor y baja en los demás factores. Existen diversos métodos de extracción y se citaran solo los de interés.

Se llama método de componentes principales al análisis que explora toda la varianza de cada variable, esto es, la común, la específica y la debida a errores de observación. Es recomendable para la reducción de datos, en conjuntos con varianza común elevada.

Se llama método clásico al análisis que explora solo la varianza común de cada variable, el cual es recomendable para un análisis factorial confirmatoria. Es a su vez recomendable cuando las puntuaciones factoriales no son importantes, esto es, cuando no se van a utilizar.

El Análisis Factorial comienza sus cálculos a partir de lo que se conoce como matriz reducida, compuesta por los coeficientes de correlación entre las variables y con las comunalidades en la diagonal. Como la comunalidad no se puede determinar hasta que se conozcan los factores, este hecho resulta ser uno de los problemas del Análisis Factorial. Si se utiliza el método de componentes principales, dado que no se supone la existencia de algún factor común, la comunalidad toma como valor inicial uno.

1.2.1.4. ANÁLISIS PARALELO

La matriz factorial indica la relación entre los factores y las variables. Sin embargo, muchas veces resulta difícil la interpretación de los factores. Para facilitar la interpretación, se realiza lo que se denominan rotaciones factoriales.

La rotación factorial pretende seleccionar la solución más sencilla e interpretable. Dicha rotación consiste en hacer girar los ejes de coordenadas, que representan a los factores, hasta conseguir que se aproximen al máximo las variables en que están saturados. La saturación de factores transforma la matriz factorial inicial en otra denominada matriz factorial rotada, de más fácil interpretación.

La matriz factorial rotada es una combinación lineal de la primera y explica la misma varianza. Las communalidades no se alteran, sin embargo, cambia la varianza explicada por cada factor. La rotación intenta aproximarla al principio de estructura simple, con las propiedades de que cada factor deba tener pocos pesos altos y los otros próximos a cero, que cada variable no deba estar saturada más que en un factor y no existan factores con la misma distribución, es decir, los factores distintos deban presentar distribuciones de cargas altas y bajas distintas.

Existen diversos métodos de rotación, dentro de los más utilizados se encuentra la rotación ortogonal (**Varimax, Equamax, Cuartimax**) que son rotaciones perpendiculares a los ejes o factores que maximizan la varianza explicada, y la rotación oblicua que es más realista y suele ofrecer resultados más claros según algunos autores. La matriz factorial no rotada se convierte en dos matrices distintas: la matriz de ponderaciones, la cual se utiliza en la interpretación, y la matriz de correlaciones entre factores y variables.

También se obtiene otra matriz de correlaciones entre factores.

En esta construcción juega un papel preponderante el conocimiento del investigador.

Para el proceso de interpretación se tiene en cuenta los siguientes pasos:

- Ordenar la matriz rotada de forma que las variables con saturaciones altas en un factor aparezcan juntas.
- Estudiar la composición de las saturaciones factoriales significativas de cada factor.
- Intentar dar nombre a los factores.

Se debe ser tanto más exigente mientras menor sea el tamaño muestral, mientras menos variables se incluyan en el factorial y finalmente mientras el factor analizado sea de los últimos extraídos.

Si el método de extracción ha sido el clásico, solo se podrán hacer estimaciones. Si se elige componentes principales, el cálculo de las puntuaciones factoriales se realiza a partir de la matriz factorial rotada y se basa en el modelo de regresión múltiple.

En cuanto a la aplicación de las pruebas de esfericidad de Bartlett y del KMO se procedió como se describe en las siguientes secciones.

1.2.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS

H₀: Las variables del sistema estomatognático que tienen mayor relación a la presencia de TTM no están correlacionadas en la población objeto de estudio.

H₁: Algunas variables del sistema estomatognático que tienen mayor relación a la presencia de TTM están correlacionadas en la población objeto de estudio.

Para realizar el contraste de la hipótesis nula H₀ se aplica el método de esfericidad de Bartlett mediante la prueba $\chi^2_{(435)}$ y se obtiene una probabilidad de cometer error tipo I de $p = 0$. Como $p < 0.05$, se rechaza H₀, por consiguiente, se concluye que algunas variables están correlacionadas, y por tanto, se puede realizar el análisis factorial. En relación a nuestro estudio se ha obtenido el valor de KMO de 0.554, por consiguiente, nos está indicando que el análisis factorial procede para el estudio.

1.2.3. PROCEDIMIENTO PREVIO

De todas las variables consideradas en el TTM se escogieron como apropiadas treinta, cumpliendo con el estándar de tener un número de muestra de al menos el doble del número de las mismas, en este caso ochenta y cinco.

Se observaron los datos de las frecuencias de cada variable y se continuó el análisis evaluando los coeficientes de correlación entre ellas mediante la prueba de **Spearman**. Al realizar esta evaluación se procedió a eliminar las variables que presentaban menor correlación positiva, de manera que se pudiera iniciar el análisis factorial con un menor número de variables y una mejor correlación entre ellos.

Iniciado el análisis factorial se continuó disminuyendo el número de variables ya sea por eliminación de algunas primarias, asociación de dos o más de ellas en una sola, o creación de nuevas variables que resumían las anteriores. Con las variables finales se realizó nuevamente el análisis de correlación (Pearson) en la que se resaltan los valores significativos ($p < 0.01$).

Los pasos seguidos para el análisis de estos datos se detallan a continuación.

1.2.4. ANÁLISIS FACTORIAL

Una vez que el sistema H concluyo con la recolección de los datos de los ochenta y cinco pacientes, estos datos fueron exportados a un fichero e importados por el software SPSS, de donde se obtuvo la base de datos necesaria para aplicar la técnica multivalente.

Para aplicar el análisis factorial se tuvo que evaluar los supuestos de viabilidad utilizando la prueba de esfericidad de Bartlett y la medida de adecuación de la muestra de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO).

Además se procedió a obtener los coeficientes de la matriz de correlaciones, su inversa, los niveles de significancia contribución a contribución, la matriz reproducida, y el determinante de la matriz de correlaciones.

Se procedió además a seleccionar el método de extracción, que de acuerdo a los preliminares se sugería elegir el de componentes principales.

Además, se desarrolló el análisis de la matriz de correlaciones sin un método de rotación para observar si los resultados obtenidos eran suficientes o si era necesario un segundo análisis.

Asimismo, fue realizado el análisis de auto valores para la determinación de los factores, por lo que un gráfico de sedimentación o codo fue realizado como constatación basándose en el método de auto valores significativos mayores que uno.

Finalmente se procedió a la obtención de la solución rotada como resultado de un segundo análisis, eligiéndose el método **Varimax** ya que según la teoría explicada se obtendría mejores resultados, eligiéndose observar la matriz de coeficientes de las puntuaciones factoriales.

El sistema H tuvo la capacidad de guardar los resultados del análisis factorial como variables, por si se desea trabajar posteriormente a este trabajo con los resultados.

1.2.5. INFORME DEL ANÁLISIS

Uno de los resultados anticipados y explicados, de acuerdo a la prueba de hipótesis ya realizada es aquella mencionada por los reportes del índice de KMO y de la prueba de esfericidad de Bartlett (Figura 1.2.1). Con respecto a la información recolectada y según los resultados, se determinó que se debía seleccionar once componentes (o factores) dado que los auto valores de cada uno de ellos eran mayores que uno. Esto se observó en el gráfico de sedimentación que aparece en el informe del programa (Figura 1.2.2). Por otro lado, se tuvo que el ochenta por ciento de la variabilidad total de los datos considerados fue explicado por los once componentes seleccionados, lo cual fue una cantidad bastante aceptable, y se observa en la Tabla 1.2.1. Los factores uno y dos contienen parte de la variabilidad del 18.3% y 12.5% respectivamente, y según las descripciones se pudo ir identificando la variabilidad de los otros factores.

KMO y prueba de Bartlett		
Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.		,554
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	1675,774
	gl	435
	Sig.	,000

Figura 1.2.1: Reporte del índice KMO y de la prueba de Bartlett.

Aplicando el modelo de análisis factorial a los datos de las treinta variables seleccionadas del trastorno, y considerando la rotación **Varimax**, se obtuvieron las cargas factoriales o correlaciones de los factores determinados con sus respectivas variables que forman parte del sistema estomatognático (Tabla 1.2.2). Se consideró el criterio de correlaciones significativas desde el punto de vista práctico observando que cada coeficiente de correlación fuera mayor a 0.6.

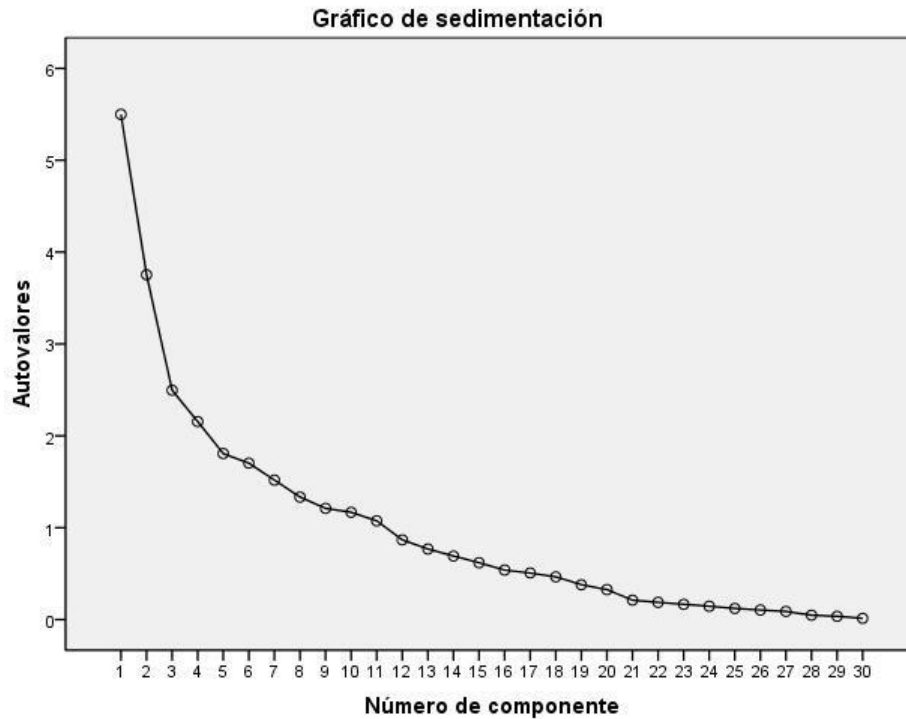


Figura 1.2.2: Gráfico de sedimentación para la selección de factores.

Concluyendo, en el análisis factorial final se encontró que treinta variables se agrupaban en once factores (Tabla 1.2.3) participando en ellos con un peso diferente de acuerdo a la variable. Se encontró así algunas variables con peso alto y casi único en un factor, mientras otros tenían un peso mayor en un factor y secundario en otro u otros.

De acuerdo a los resultados, se identificó la relación de variables que tienen la más alta correlación en cada factor y se presentó una lista de factores con las variables del sistema estomatognático que le correspondía. Como se sabe el paso más importante del análisis factorial es la nomenclatura y la interpretación que se le da al análisis final, por lo que se le dieron a cada uno de los factores un nombre respectivo, de acuerdo a su composición. Para ello se decidió desarrollar un cambio a nivel únicamente de numeración mediante la indexación que aparece en la Tabla 1.2.4 de acuerdo a la opinión de los expertos en TTM por la cronicidad de la pertenencia a los factores y por similitudes con la investigación de Kobayashi. Dicha modificación aparece en la Tabla 1.2.5.

La nomenclatura y descripción de los factores son realizadas en las siguientes secciones.

Varianza total explicada									
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	5,499	18,331	18,331	5,499	18,331	18,331	3,579	11,929	11,929
2	3,753	12,511	30,842	3,753	12,511	30,842	2,858	9,526	21,455
3	2,496	8,320	39,162	2,496	8,320	39,162	2,763	9,210	30,665
4	2,154	7,182	46,344	2,154	7,182	46,344	2,314	7,714	38,379
5	1,807	6,023	52,367	1,807	6,023	52,367	2,002	6,673	45,052
6	1,703	5,676	58,043	1,703	5,676	58,043	1,980	6,600	51,652
7	1,518	5,060	63,103	1,518	5,060	63,103	1,965	6,549	58,201
8	1,334	4,445	67,549	1,334	4,445	67,549	1,757	5,856	64,058
9	1,210	4,035	71,583	1,210	4,035	71,583	1,708	5,693	69,751
10	1,168	3,892	75,475	1,168	3,892	75,475	1,468	4,894	74,645
11	1,075	3,582	79,057	1,075	3,582	79,057	1,324	4,412	79,057
12	,867	2,892	81,949						
13	,768	2,560	84,509						
14	,692	2,305	86,814						
15	,619	2,063	88,877						
16	,539	1,798	90,674						
17	,507	1,689	92,364						
18	,465	1,550	93,914						
19	,379	1,264	95,178						
20	,326	1,088	96,266						
21	,211	,704	96,970						
22	,187	,625	97,595						
23	,166	,554	98,149						
24	,145	,483	98,632						
25	,121	,405	99,037						
26	,104	,346	99,383						
27	,088	,294	99,677						
28	,048	,160	99,837						
29	,036	,119	99,956						
30	,013	,044	100,000						

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

Tabla 1.2.1: Varianza total explicada.

Matriz de componentes rotados ^a											
	Componente										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DoLI	,885	-,011	-,069	-,094	-,076	,095	-,021	,053	-,031	,144	-,071
ResAp	,847	,095	,111	,086	,143	-,080	-,064	,229	-,081	,005	,035
DesLIAp	,039	,270	-,645	,203	,117	-,169	,062	-,079	-,107	-,032	,156
DoAp	,825	-,123	,092	,173	-,141	-,153	,157	,113	-,110	,062	,057
CREYCLD	-,039	,012	-,043	,063	-,105	,002	-,006	-,025	,874	,173	-,109
CREYCLI	-,015	,010	,086	-,116	,055	-,032	,063	,044	,842	-,197	,100
ChRpCD	-,036	,052	-,073	,029	-,030	-,097	,896	,002	-,008	,055	-,034
ChRpCI	-,067	,020	-,049	,173	,066	-,090	,862	,031	,067	-,015	,004
CrFnD	,272	,601	-,290	,313	,000	,134	,245	-,097	-,067	-,057	,196
CrFnI	,229	,458	-,315	,336	-,050	,074	,169	-,082	-,206	,080	,383
CrGrD	-,078	-,001	-,101	,052	-,074	-,045	-,212	,003	-,009	,307	,726
DoTeAD	,365	,294	,025	,233	,054	,057	,088	,741	,041	,093	-,050
DoTeAI	,178	,245	,165	,042	,121	-,016	-,001	,849	-,026	,049	-,002
DoMaAnD	,213	,831	,086	,002	,057	-,018	-,003	,267	,021	,007	-,103
DoMaAnI	-,062	,844	,146	,023	,091	-,061	-,002	,336	,050	,012	-,108
DoPILD	,249	,355	,781	-,080	-,026	,156	-,023	,027	,091	,103	-,041
DoPILI	,113	,332	,815	-,071	,000	,128	-,010	,060	,111	,115	-,019
ECMSYES.D	,023	,057	-,054	,142	,902	,101	,081	,048	,010	-,009	,060
ECMSYES.I	,027	,067	,036	,256	,890	,064	-,070	,106	-,054	,088	-,050
DoInsOCITr	,047	,039	-,100	,901	,181	,000	,169	,128	,020	-,038	-,083
DoInsOCITr	,069	,080	-,038	,899	,236	-,079	,055	,085	-,063	-,090	-,014
DoCpPNo	,664	,387	,143	,034	,098	,131	-,172	-,049	,099	-,103	-,087
DoCpSNo	,692	,389	,051	,014	,101	,184	-,121	,155	,105	-,032	-,049
CeBi	-,059	-,196	,104	-,338	,136	,057	,242	-,032	,027	-,276	,674
INuPzPI	,016	-,197	,656	,100	,104	,086	-,082	,052	-,217	,006	,104
LaDLT	-,049	-,004	,304	-,116	,357	-,061	,182	-,349	-,145	,441	-,114
LaILT	,078	,010	,176	-,043	,036	,046	-,003	,114	,015	,854	,125
LaDLNoT	-,005	,022	,292	,035	,075	,816	-,194	,006	,110	,007	,075
LaILNoT	,008	,033	,227	-,009	,072	,864	-,084	-,006	-,135	-,046	-,059
ConProt	,162	-,052	-,198	-,224	,050	,565	,102	,053	-,002	,448	-,004

Método de extracción: Análisis de componentes principales.
Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

a. La rotación ha convergido en 14 iteraciones.

Tabla 1.2.2: Matriz de componentes rotados.

Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9	Factor 10	Factor 11
DoLtl	CrFnD	DesLtAp	DoInsOcDTr	LaDLnoT	ChRpCD	ChRpCD	DoTeAD	CREYCL.D	LaDLnoT	CrGrD
ResAp	CrFnI	DoPtLD	DoInsOcITr	LaILnoT	ChRpCI	ChRpCI	DoTeAI	CREYCL.I	LaILnoT	CeBi
DoAp	DoMaAnD	DoPtLI		ConProt	LaDLnoT					
DoCpPNo	DoMaAnI	IPzPtes		ECMSYE.D	LaILnoT					
DoCpSNo				ECMSYE.I	ConProt					

Tabla 1.2.3: Variables obtenidas para cada uno de los factores extraídos.

$F_1 \rightarrow F_1$	$F_2 \rightarrow F_2$	$F_3 \rightarrow F_3$	$F_4 \rightarrow F_4$	$F_5 \rightarrow F_7$	$F_6 \rightarrow F_5$	$F_7 \rightarrow F_6$	$F_8 \rightarrow F_9$	$F_9 \rightarrow F_{10}$	$F_{10} \rightarrow F_8$	$F_{11} \rightarrow F_{11}$
-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------------

Tabla 1.2.4: Re indexación de los factores.

Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9	Factor 10	Factor 11
DoLtl	CrFnD	DesLtAp	DoInsOcDTr	LaDLnoT	ChRpCD	ECMSYE.D	LaDLT	DoTeAD	CREYCL.D	CrGrD
ResAp	CrFnI	DoPtLD	DoInsOcITr	LaILnoT	ChRpCI	ECMSYE.I	LaILT	DoTeAI	CREYCL.I	CeBi
DoAp	DoMaAnD	DoPtLI		ConProt						
DoCpPNo	DoMaAnI	IPzPtes								
DoCpSNo										

Tabla 1.2.5: Variables obtenidas para cada uno de los factores re indexados.

1.2.6. NOMENCLATURA DE FACTORES

Factor 1: Trastorno inflamatorio articular con trastorno funcional mandibular.

Factor 2: Trastorno crónico degenerativo articular con trastorno muscular mandibular por probable parafunción.

Factor 3: Trastorno degenerativo crónico con desorden muscular y funcional mandibular, con alteración de la estabilidad oclusal.

Factor 4: Trastorno crónico de los músculos de la nuca.

Factor 5: Trastorno crónico oclusal en movimientos excéntricos (Lateralidad Lado de no Trabajo y Protusiva).

Factor 6: Trastorno crónico articular de desarreglo cóndilo-disco (cierre).

Factor 7: Trastorno crónico con sintomatología muscular cervical.

Factor 8: Alteración crónica oclusal en movimientos excéntricos (Lateralidad Lado de Trabajo).

Factor 9: Trastorno crónico con trastorno muscular masticatorio.

Factor 10: Trastorno crónico articular de desarreglo cóndilo-disco (Apertura, cierre, lateralidad).

Factor 11: Trastorno crónico degenerativo con alteración de la estabilidad oclusal.

Por consiguiente, mediante el análisis factorial, la dimensión original de las treinta variables significativas del sistema estomatognático quedó reducida a once factores que explican en forma similar dicho sistema cuya descripción se acompaña a continuación.

1.2.7. DESCRIPCIÓN DE FACTORES

La descripción de los factores fue realizada por Daniel Paredes y Arturo Kobayashi, expertos en trastornos Temporomandibulares.

Factor 1: Las variables predominantes revelan que este factor está relacionado a un problema de trastorno inflamatorio articular con alteración funcional del movimiento mandibular probablemente por dolor; esto se deduce de los valores obtenidos por el dolor a la palpación de la capsula posterior y superior nominal (0.67 y 0.70 respectivamente) y por la restricción en apertura y dolor en lateralidad izquierda y apertura (0.85, 0.88 y 0.82 respectivamente). Es conocido que los movimientos mandibulares son restringidos por las personas que tienen dolor a nivel articular. Las características clínicas articulares del factor 1 sugieren un problema de tipo capsulitis o sinovitis (Ash, Ramjord).

Factor 2: En este factor las variables predominantes se relacionan a un trastorno crónico degenerativo articular con sintomatología muscular que pudiera ser ocasionado por parafunción; lo primero, se desprende del valor obtenido por la crepitación fina derecha (0.57) y lo segundo por ser los maseteros en su porción anterior los que registraron dolor a la palpación bilateral (0.83, 0.85); esto coincide con lo encontrado en el estudio de Magnusson, Egermark y Carlsson del año 2000 donde en un estudio epidemiológico longitudinal de signos y síntomas de TTM en un seguimiento de veinte años se encontró una alta correlación entre apretamiento, rechinar, ruidos articulares y fatiga muscular, teniendo a la porción anterior del masetero como uno de los tres músculos que presentaron mayor frecuencia de dolor a la palpación.

Factor 3: Las variables representativas de este factor muestran un trastorno degenerativo crónico con trastorno muscular y funcional, con alteración de la estabilidad oclusal, dado por los valores de crepitación fina bilateral (0.33, 0.35), dolor a la palpación de los pterigoideos laterales de ambos lados (0.77, 0.80) y la inversa por cien del número de piezas presentes (0.66); aquí los valores bajos de las variables de crepitación fina se mantuvieron en el factor dado que al probar retirándolos, los valores de las demás variables del análisis factorial se alteraban de manera negativa. En un estudio de prevalencia de signos y síntomas de TTM en seiscientos setenta y dos individuos japoneses realizado por Matsuka en 1996, se encontró un porcentaje de frecuencia similar a los hallados en poblaciones con características raciales diferentes, específicamente, se observó 19% de crepitación y 21% de sensibilidad muscular masticatoria. Entre los grupos musculares evaluados se encontraban los pterigoideos laterales. Como dato relevante se encontró que la crepitación era más frecuente en grupos etáreos mayores, sin embargo, el autor relaciono este hallazgo con el mayor número de piezas dentarias perdidas en este grupo, sobre todo con ausencia de las molares, lo cual coincide con lo encontrado en este factor. Adicionalmente, Aceberg concluyó que el número de piezas perdidas estaba en relación con el incremento de los síntomas de TTM, y estudios como el de Wadhwa en 1993 identificaron al pterigoideo lateral como uno de los músculos con mayor frecuencia de dolor en personas con TTM.

Factores 4 y 7: Aquí las variables definen específicamente un trastorno crónico de los músculos de la nuca para el factor 4 dado por la inserción occipital del trapecio de ambos lados (0.90, 0.90), y por la inserción superior del esternocleidomastoideo y el esplenio de ambos lados (0.92, 0.90) para el factor 7. No existe mucha investigación específica al respecto pero algunos autores refieren una aparente relación estrecha entre TTM con alteraciones cervico braquiales así como que los TTM pueden ser factores predisponentes

de alteraciones cervico braquiales, como sugieren Alanen y Kirveskari en su artículo “trastorno cervico braquiales ocupacionales y TTM” publicada en la revista Cranio en 1985, además hay quienes afirman que la postura de la cabeza en una columna vertical depende de los músculos posteriores del cuello (trapecio, esternocleidomastoideo y dorsales del cuello) y los músculos anteriores del cuello, por lo que se recomienda terapia física de la postura de la cabeza como parte del tratamiento de pacientes con TTM y dolor cervical.

Factores 5 y 8: Las variables de estos factores precisan un trastorno crónico oclusal en movimientos excéntricos, para lateralidad lado de no trabajo y protrusiva para el factor 5, y para lateralidad lado de trabajo en el factor 8. En general en el análisis factorial las variables oclusales tienen una tendencia a formar grupos de factores aislados, sin embargo su presencia es imprescindible para mantener la estabilidad de todo el análisis, como se pudo comprobar cuando se intentó retirarlos del factorial. Algunos estudios experimentales como los realizados por Funakoshi en 1976 encontraron que se producía un desbalance en la actividad muscular postural en sujetos a los que experimentalmente se les colocaba restauraciones 0.3mm altas en las segundas molares creándoles interferencias oclusales. Ingervall y Carlsson luego de otro estudio experimental concluyeron que sujetos con interferencias naturales en excursivas no elevaban sus niveles de actividad muscular postural ni fuerza de mordida, pero sí alteraron sus ciclos masticatorios, además sugirieron que las interferencias del lado de balance (no trabajo) producían mayor alteración en los niveles de actividad que las interferencias del lado de trabajo.

Factores 6 y 10: Las variables de este factor describen un trastorno crónico articular de desarreglo cóndilo-disco. Para el factor 6, con chasquido reproducible en cierre en TTM de ambos lados (0.90, 0.86), y en chasquido recíproco y chasquido reproducible en lateralidad de ambos lados (0.86, 0.86) para el factor 10. Aunque aún existen discrepancias en cuanto al significado real de los ruidos articulares en los TTM, ha sido probado por varios estudios que existe una asociación estadísticamente significativa entre el chasquido y los TTM, como demuestra el trabajo de Widmalm en 1992 donde se registró pre quirúrgicamente el sonido de veintinueve articulaciones con un estetoscopio un día antes de la operación de los sujetos de la muestra; las ATM con chasquido recíproco mostraron desplazamiento de disco con reducción, y aquellas silentes y con crepitación, presentaron desplazamiento del disco sin reducción; también comprobaron que todas las ATM's con chasquido recíproco y la mayoría de las silentes mostraron superficies no artrósicas. Gale en 1985 por su parte en un estudio en donde realizó cuestionarios a ciento setenta y tres expertos, encontró que para la mayoría de ellos la presencia de chasquido en ausencia de otro signo o síntoma no es importante.

Factor 9: Las variables dolor a la palpación de los músculos temporales anteriores de ambos lados (0.79, 0.88) y del masetero anterior izquierdo con menor peso (0.31) muestran un trastorno crónico muscular masticatorio. En el estudio de Machado y colaboradores en el 2000 se trató el tema TTM y su relación con los factores etiológicos de la oclusión. Molina en 1999 publicó un interesante artículo sobre un estudio clínico de signos y síntomas de TTM en bruxómanos clasificados por grado de severidad, y encontró que la condición de bruxómano es un factor significativo en la etiología y progresión de los trastornos articulares y musculares masticatorios, entre estos grupos musculares se encuentran los temporales y los maseteros, concluyendo además que mientras mayor es el grado de severidad de la parafunción, mayor es el daño producido en los músculos. Lundeen encontró una prevalencia de 51% de pacientes con dolor muscular en bruxómanos.

Factor 11: La variable crepitación gruesa derecha (0.61) y céntrica binomial (0.78) sugiere un trastorno crónico degenerativo con alteración de la estabilidad oclusal. En el estudio anteriormente descrito realizado por Widmalm se observó que las ATM con crepitación no siempre presentaban superficies artrósicas, lo cual indica que la crepitación no es un signo lo suficientemente confiable para afirmar la presencia de artrosis. En el estudio de Gale también anteriormente mencionado, reportó que para la mayoría de expertos la crepitación por sí sola sí puede ser importante y que si está acompañada de otros síntomas sí puede considerarse un fuerte indicador de patología.

En función a estos factores se crearon en MATLAB las leyes lógicas difusas del sistema H para la obtención de la membresía de un sujeto de prueba a cada uno de los factores del trastorno Temporomandibular obtenidos por el factorial, membresías que han de contribuir a la generación de las funciones de tracción y sus valores máximos.

2. CREACION DEL SISTEMA DIFUSO

2.1. PRELIMINARES

Los sistemas expertos son una rama de la Inteligencia Artificial que hace uso del conocimiento especializado para resolver problemas como un especialista humano. Se entiende por especialista humano a aquella persona que tiene experiencia desarrollada en cierta área; es decir, el especialista tiene conocimientos o habilidades especiales que la mayoría no conoce o de las que no dispone (el llamado dominio de conocimiento); puede resolver problemas que la mayoría no podría resolver, o los resuelve con mucha mayor eficiencia y a menor coste. El conocimiento de los sistemas expertos puede obtenerse por experiencia o consulta de los conocimientos que suelen estar en revistas, libros, y con personas capacitadas. En su dominio de conocimiento el sistema experto razona o hace inferencias de la misma forma que un especialista humano inferiría la solución de un problema, esto es, dados unos hechos se infiere una conclusión. Se presenta a continuación una tabla comparativa (Tabla 2.1.1) que resume lo que es un sistema experto. Como se sabe el diagnóstico de un odontólogo o de un médico obedece a las características ideales para el uso del sistema experto. Sin embargo posee un plus referido a que dichos diagnósticos pueden variar ligeramente de médico en médico, por lo que la uniformización de los mismos se hace complicada. Por tanto es necesario utilizar un sistema experto manejado con otro tipo de lógica distinta a la convencional denominada Lógica Difusa.

Sistema clásico	Sistema experto
Conocimiento y procesamiento combinados en un programa.	Base de conocimiento separada del mecanismo de procesamiento.
No contiene errores.	Puede contener errores.
No da explicaciones, los datos sólo se usan o escriben.	Una parte del sistema experto la forma el módulo de explicación.
Los cambios son tediosos.	Los cambios en las reglas son fáciles.
El sistema sólo opera completo.	El sistema puede funcionar con pocas reglas.
Se ejecuta paso a paso.	La ejecución usa heurísticas y lógica.
Necesita información completa para operar.	Puede operar con información incompleta.
Representa y usa datos.	Representa y usa conocimiento.

Tabla 2.1.1: Comparación entre sistemas clásico y experto.

La lógica difusa es un tipo de lógica para procesar datos inciertos. En ese sentido, un elemento puede tener graduaciones entre verdadero y falso. Por tanto, de la unión de estos conceptos se forma el término sistema experto difuso. Este tipo de sistema experto tiene principalmente los siguientes bloques:

- **Base de Conocimientos:** Contiene por una parte el conjunto de reglas del sistema (base de reglas) y la base de datos, donde se definen las funciones de pertenencia a los conjuntos difusos utilizados en la base de reglas.

- **Interfaz de Fuzzyficación:** Transforma un valor numérico representativo de una magnitud cualquiera en un grado de pertenencia a cualquiera de los conjuntos difusos definidos en la base de datos.
- **Unidad de toma de decisiones (Motor de Inferencia):** Realiza las operaciones de inferencia a partir de las reglas.
- **Interfaz de Defuzzyficación:** Convierte los resultados difusos de la inferencia en valores numéricos nuevamente.

2.1.1. FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA EXPERTO

Se comparan los valores numéricos de entrada al sistema con las funciones de pertenencia asociadas a los términos lingüísticos de la parte del antecedente de la regla asociada a esa entrada. Se calcula el grado de pertenencia a dichos términos. A este paso se le conoce como **Fuzzyficación**. Se combinan los grados de pertenencia a cada término asociado con el antecedente de la regla para determinar el grado de cumplimiento de la misma. Se genera un consecuente para cada regla en función del grado de cumplimiento de cada una. Se obtiene una salida numérica a partir de todos los consecuentes obtenidos. A este paso se le conoce como **Defuzzyficación**. Se puede observar la Figura 2.1.1 para la descripción anteriormente explicada.

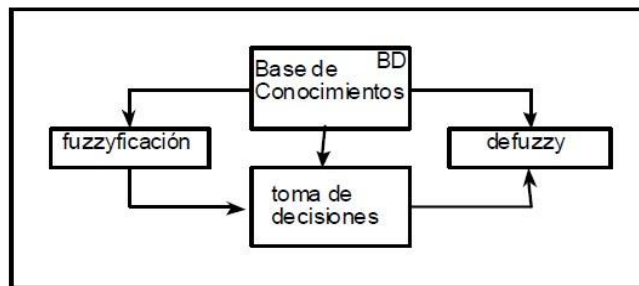


Figura 2.1.1: Bloques de un sistema experto difuso.

2.1.2. EMPLEO DE LA LÓGICA DIFUSA

Para efectos teóricos y prácticos, se puede resumir que la lógica difusa resulta idónea u óptima cuando:

- No existe un modelo de solución sencillo para procesos complejos.
- El problema incluye procesos no lineales.
- Se tenga que introducir la experiencia de un operador que se base en conceptos imprecisos obtenidos de su labor continua.
- Ciertas partes del sistema a controlar son desconocidas y no pueden medirse de forma fiable, lo cual es equivalente a decir, con errores posibles.
- El ajuste de una variable puede producir el desajuste de otras.
- En general, cuando se quieran representar y operar con conceptos que tengan imprecisión o incertidumbre.

En el caso de este trabajo, se sabe que el diagnóstico de un médico, en particular de un odontólogo sobre alguna enfermedad de un determinado trastorno Temporomandibular se encuentra basado en la aplicación de los estudios realizados y en la experiencia, que finalmente conlleva a tomar conclusiones o prescripciones que en esencia son difusas, y que no pueden medirse de forma fiable, sujeto a posibles errores, con cierto porcentaje de imprecisión e incertidumbre; asimismo, son los médicos, en este caso los odontólogos, los “expertos” en tratar estas enfermedades, por lo cual y de acuerdo a las características comentadas, se concluye que es apto optar por la lógica difusa para los propósitos del mismo.

2.2. CONJUNTOS DIFUSOS

Un conjunto difuso A se define como una función de pertenencia que enlaza o empareja los elementos de un dominio o universo de discurso con elementos del intervalo $[0,1]$. Se le puede definir como una función $A: X \rightarrow [0,1]$. Esto significa que dichos conjuntos relajan la restricción de la función: $A: X \rightarrow [0,1]$. Cuanto más cerca este $A(x)$ del valor uno, mayor será la pertenencia del objeto x al conjunto A. Los valores de pertenencia varían entre cero (no pertenece en absoluto) y uno (pertenencia total). Dichos conjuntos surgen a partir de que existen conceptos que no tienen límites claros.

2.2.1. REPRESENTACIÓN DE UN CONJUNTO DIFUSO

Un conjunto difuso A se puede representar como un conjunto de pares de valores, donde

cada elemento $x \in X$ es asociado con su grado de pertenencia a $A: \left\{ \frac{A(x)}{x}, x \in X \right\}$ o el

equivalente $A = \sum_{i=1}^n \frac{A(x_i)}{x_i}$. Si el universo es continuo, entonces se tiene la representación:

$$A = \int_X \frac{A(x)}{x}.$$

La integral no debe considerarse como una operación algebraica, es solo una notación.

2.2.2. FUNCIÓN DE PERTENENCIA O MEMBRESÍA

Un conjunto difuso puede ser representado gráficamente como una función, especialmente cuando el universo de discurso X es continuo. Se entiende como universo de discurso al eje de las abscisas X y como grado de pertenencia en $[0,1]$ al eje Y.

2.2.2.1. PROPIEDADES DE LAS FUNCIONES DE PERTENENCIA

Si $f_A(x)$ indica la función de pertenencia de x al conjunto A, se pueden definir las siguientes propiedades:

- Si x pertenece totalmente a A, entonces $f_A(x) = 1$.
- Si x no pertenece totalmente a A, entonces $f_A(x) = 0$.
- $f_{A, \text{or}, B(x)} = \max(f_A(x), f_B(x))$
- $f_{A, \text{and}, B(x)} = \min(f_A(x), f_B(x))$
- $f_{\text{not}, A(x)} = 1 - f_A(x)$

2.2.2.2. TIPOS DE FUNCIONES DE PERTENENCIA

Acerca de las funciones de pertenencia es preferible utilizar funciones simples, debido a la simplificación de cálculos y a que no se pierde exactitud, debido a que precisamente se está definiendo un concepto difuso. Las funciones de pertenencia típicas son las siguientes:

Función triangular (Figura 2.2.2): Definida por sus límites inferior a y superior b , y el valor total modal m , tal que $a < m < b$.

$$A(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{si } a < x \leq m \\ \frac{b-x}{b-m}, & \text{si } m < x < b \\ 0, & \text{si } x \geq b \end{cases}$$

También se puede representar de la forma:

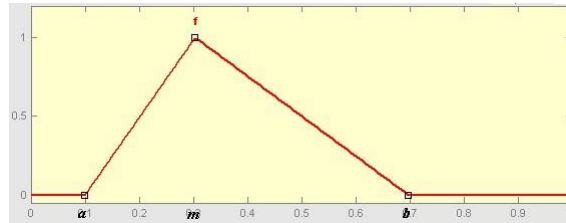


Figura 2.2.2: Función de pertenencia tipo triangular.

$$A(x, a, m, b) = \max\left\{\min\left\{\frac{x-a}{m-a}, \frac{b-x}{b-m}\right\}, 0\right\}$$

Función gamma (Figura 2.2.3): Definida por su límite inferior a y el valor $k > 0$.

$$A(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } x \leq a \\ 1 - e^{-k(x-a)^2}, & \text{si } x > a \end{cases}$$

$$A(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } x \leq a \\ \frac{k(x-a)^2}{1 + k(x-a)^2}, & \text{si } x > a \end{cases}$$

Esta función se caracteriza por un rápido crecimiento a partir de a . Cuanto mayor es el valor de k , el crecimiento es más rápido aun. La primera definición tiene un crecimiento más rápido. Nunca se toma el valor uno, pues posee una asíntota horizontal en uno.

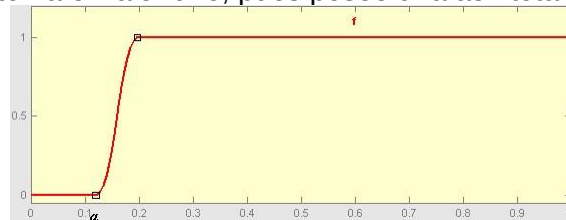


Figura 2.2.3: Función de pertenencia tipo gamma.

Se aproximan linealmente (Figura 2.2.4) por:

$$A(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{si } x \in \langle a, m \rangle \\ 1, & \text{si } x \geq m \end{cases}$$

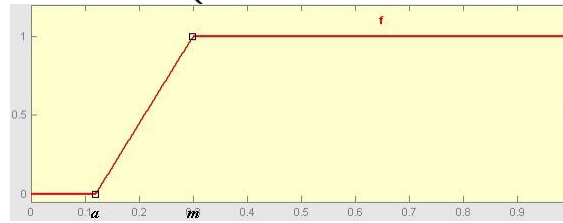


Figura 2.2.4: Aproximación lineal de la función de pertenencia tipo gamma.

Función S (Figura 2.2.5): Definida por sus límites inferior a y superior b , y el valor m , o punto de inflexión tal que $a < m < b$. Un valor típico es: $m = \frac{(a+b)}{2}$.

El crecimiento es más lento cuanto mayor sea la distancia $a - b$.

$$A(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } x \leq a \\ 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & \text{si } x \in \langle a, m \rangle \\ 1 - 2 \left(\frac{x-b}{b-a} \right)^2, & \text{si } x \in \langle m, b \rangle \\ 1, & \text{si } x \geq b \end{cases}$$

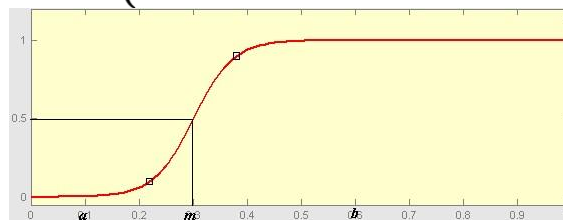


Figura 2.2.5: Función de pertenencia tipo S.

Función gaussiana (Figura 2.2.6): Definida por su valor medio m y el valor $k > 0$. Es la típica campana de Gauss. Cuanto mayor es k , más estrecha.

$$A(x) = e^{-k(x-m)^2}$$

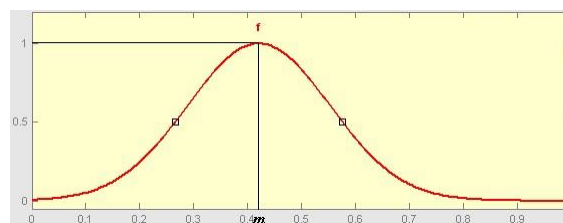


Figura 2.2.6: Función de pertenencia tipo gaussiana.

Función trapezoidal (Figura 2.2.7): Definida por sus límites inferior y superior a y d , y los límites de su soporte b y c , inferior y superior respectivamente

$$A(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } x \leq a \vee x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{si } x \in \langle a, b \rangle \\ 1, & \text{si } x \in \langle b, c \rangle \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{si } x \in \langle c, d \rangle \end{cases}$$

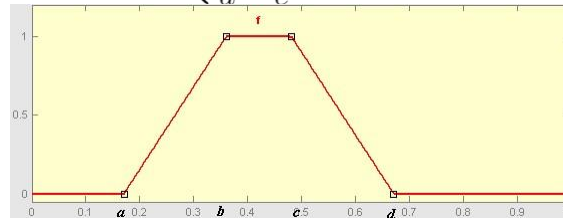


Figura 2.2.7: Función de pertenencia tipo trapezoidal.

Función Pseudo-exponencial (Figura 2.2.8): Definida por m y el valor $k < 1$. Cuanto mayor es el valor de k , la campana es más estrecha, es más rápida.

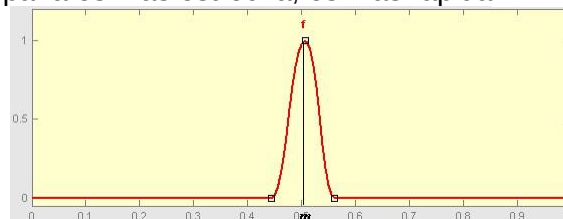


Figura 2.2.8: Función de pertenencia tipo Pseudo-exponencial.

Función trapecio extendido (Figura 2.2.9): Definida por los cuatro valores de un trapecio $[a, b, c, d]$, y una lista de puntos entre a y b , o entre c y d . En general, la función trapezoidal se adapta bastante bien a la definición de cualquier concepto, con la ventaja de su fácil definición, representación y simplicidad de cálculos. En casos particulares, el trapecio extendido puede ser de gran utilidad. Usar una función más compleja no añade mayor precisión, pues se debe de tener en cuenta que se está definiendo un concepto difuso.



Figura 2.2.9: Función de pertenencia tipo trapecio extendido.

2.3. PASOS PARA UN SISTEMA DIFUSO

Los pasos fundamentales a seguir para la construcción del sistema experto difuso siguen la secuencia:

Paso 1: Definición de las variables lingüísticas difusas.

Paso 2: Definición de rangos y valores lingüísticos de las variables.

Paso 3: Asignación de la función de pertenencia a los rangos de las variables.

Paso 4: Construcción de base de reglas.

Paso 5: Pruebas de simulación.

Para efectos de este trabajo, se definirán los pasos mostrados anteriormente en la construcción del sistema experto difuso generado en MATLAB.

2.3.1. PASO 1: DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES LINGÜÍSTICAS DIFUSAS

Se definen cada una de las variables, teniendo en cuenta el índice de disfunción Cráneo Mandibular de Friction reflejado como test del mismo nombre en la tabla 2.3.2.

ESCALA	MÉTODO	RANGO
Movimiento Mandibular (<i>MM</i>)	N° de respuestas positivas	0 - 16
Ruido Articular (<i>RuA</i>)	N° de respuestas positivas	0 - 4
Palpación de la capsula articular (<i>PCA</i>)	N° de respuestas positivas	0 - 6
ÍNDICE DE DISFUNCIÓN(<i>ID</i>)	$ID = \frac{(MM + RuA + PCA)}{26}$	0 - 1
Palpación extra oral de los músculos mandibulares (<i>PE</i>)	N° de respuestas positivas	0 - 18
Palpación intraoral de los músculos mandibulares (<i>PI</i>)	N° de respuestas positivas	0 - 6
Palpación de los músculos de la nuca (<i>PMN</i>)	N° de respuestas positivas	0 - 12
ÍNDICE DE PALPACIÓN(<i>IP</i>)	$IP = \frac{(PE + PI + PMN)}{36}$	0 - 1
ÍNDICE CRANEOMANDIBULAR (<i>ICM</i>)	$ICM = \frac{(ID + IP)}{2}$	0 - 1

Tabla 2.3.2: Calificación del índice Cráneo Mandibular de Friction.

1. Índice de Disfunción (ID). Variable cuantitativa continua que según Friction (tabla 2.3.2), se define como la suma de las incidencias que favorecen el desorden Temporomandibular, clasificado en movimientos mandibulares (MM), ruido articular (RuA), y palpación de la capsula articular (PCA), dividido entre veintitrés, número referido a la cantidad relevante de los ítems que aquí intervienen.

$$ID = \frac{MM + RuA + PCA}{23}$$

Su rango va de cero a uno.

2. Índice de Palpación (IP). Variable cuantitativa continua que según Friction (tabla 2.3.2), se define como la suma de las incidencias que favorecen el desorden Temporomandibular, clasificado en palpación Extraoral de los músculos mandibulares (PE), palpación Intraoral de los músculos mandibulares (PI), y palpación de los músculos de la nuca (PMN), dividido entre treinta y seis, número referido a la cantidad relevante de los ítems que aquí intervienen.

$$ID = \frac{PE + PI + PMN}{36}$$

Su rango va de cero a uno.

3. Componente del Desorden en Movimientos Mandibulares (MM). Variable cuantitativa discreta que contabiliza cuantos de los siguientes dieciséis ítems ha presentado el sujeto en el Test de Friction: Máxima apertura, Esfuerzo pasivo en máxima apertura, Restricción en apertura, Dolor en apertura, Apertura o cierre torpe, Desviación en "S" a la apertura o cierre, Desviación lateral a la apertura completa, Dolor al protruir, Limitación en protrusiva, Dolor en lateralidad derecha, Limitación en lateralidad derecha, Dolor en lateralidad izquierda, Limitación en lateralidad izquierda, Clínicamente puede trabarse en apertura, Clínicamente puede o está trabada en cierre, Rigidez de la mandíbula a la manipulación. Su rango va desde cero a dieciséis.

4. Componente del Desorden en Capsula Articular (PCA). Variable cuantitativa discreta que contabiliza cuantos de los siguientes seis ítems ha presentado el sujeto en el Test de Friction: Capsula lateral derecha, Capsula lateral izquierda, Capsula posterior derecha, Capsula posterior izquierda, Capsula superior derecha, Capsula superior izquierda. Su rango va desde cero a seis.

5. Componente del Desorden en Ruido Articular (RuA). Variable cuantitativa discreta que contabiliza cuantos de los siguientes ítems ha presentado el sujeto en el Test de Friction, bajo un condicionamiento: Chasquido reciproco derecho, chasquido reciproco izquierdo, chasquido reproducible en apertura derecha, chasquido reproducible en apertura izquierda, chasquido reproducible sólo en lateralidad derecha, chasquido reproducible sólo en lateralidad izquierda, chasquido reproducible en cierre derecho, chasquido reproducible en cierre izquierdo, chasquido no reproducible derecho, chasquido no reproducible izquierdo, crepitación fina derecha, crepitación fina izquierda, crepitación gruesa derecha, crepitación gruesa izquierda, tronido derecho, tronido izquierdo. El rango de la variable ruido articular es de cero a cuatro. Estas variables están sujetas al siguiente condicionamiento:

1. Si el paciente presenta cualquiera de los chasquidos en la zona izquierda, no puede presentar ninguno de los otros chasquidos en dicha zona.
2. Si el paciente presentara alguna crepitación en dicha zona, no puede presentar otra crepitación, ni tampoco tronido en la misma.
3. Si el paciente presentara tronido en la misma zona, no puede presentar crepitación alguna.

En una zona el paciente puede presentar dos sonidos como máximo.

El mismo análisis es llevado a cabo para la zona derecha, pudiendo haber combinaciones variadas entre zonas izquierda y derecha.

6. Componente del Desorden en Palpación Extraoral de los Músculos Mandibulares (PE). Variable cuantitativa discreta que contabiliza cuantos de los siguientes dieciocho ítems ha presentado el sujeto en el Test de Friction: Temporal anterior derecho, temporal anterior izquierdo, temporal medio derecho, temporal medio izquierdo, masetero profundo derecho, masetero profundo izquierdo, temporal posterior derecho, temporal posterior izquierdo, masetero anterior derecho, masetero anterior izquierdo, masetero inferior derecho, masetero inferior izquierdo, digástrico posterior derecho, digástrico posterior izquierdo, pterigoideo medial derecho, pterigoideo medial izquierdo, vertex derecho, vertex izquierdo. Su rango va desde cero a dieciocho.

7. Componente del Desorden en Palpación Intraoral de los Músculos Mandibulares (PI). Variable cuantitativa discreta que contabiliza cuantos de los siguientes seis ítems ha presentado el sujeto en el Test de Friction: Pterigoideo lateral derecho, pterigoideo lateral izquierdo, pterigoideo medial derecho, pterigoideo medial izquierdo, inserción temporal derecha, inserción temporal izquierda. Su rango va desde cero a seis.

8. Componente del Desorden en Palpación de los Músculos de la Nuca (PMN). Variable cuantitativa discreta que contabiliza cuantos de los siguientes doce ítems ha presentado el sujeto en el Test de Friction:

Esternocleidomastoideo superior derecho, esternocleidomastoideo superior izquierdo, esternocleidomastoideo medio derecho, esternocleidomastoideo medio izquierdo, esternocleidomastoideo inferior derecho, esternocleidomastoideo inferior izquierdo, inserción del trapecio derecho, inserción del trapecio izquierdo, trapecio superior derecho, trapecio superior izquierdo, esplenio derecho, esplenio izquierdo. Su rango va desde cero a doce.

9. Índice Oclusal (IO). Variable cuantitativa discreta que contabiliza las incidencias a favor del desorden Temporomandibular a nivel de oclusión. Su rango va desde cero hasta diecinueve. Las variables que se incluyen a esta cuenta son: Clasificación de Angle, Sobre mordida, Asimetría facial o mandibular, Desviación, Mordida abierta, Problemas de Plano Oclusal, Mordida Cruzada, Existencia de problemas con el número total de dientes naturales, Existencia de problemas con el número total de dientes que ocluyen, Trauma de dientes anteriores, Sonidos de contacto, Contacto dentario inicial en oclusión habitual, Contacto dentario inicial en relación céntrica, Deslizamiento de R.C. a O.H., Interferencias posteriores lateral derecha lado de trabajo, Interferencias posteriores lateral derecha lado de no trabajo, Interferencias posteriores lateral izquierda lado de trabajo, Interferencias posteriores lateral izquierda lado de no trabajo, Contacto posterior en protrusiva.

10. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor I (EFI). Se tienen dieciséis ítems. En la escala del cero al uno: Del 0 al 0.8 se han considerado cinco tramos de igual longitud. Estas puntuaciones corresponden a las variables:

- a) Restricción en la apertura.
- b) Dolor a la apertura.
- c) Dolor a la lateralidad izquierda.
- d) Dolor a la palpación de la capsula lateral derecha.
- e) Dolor a la palpación de la capsula lateral izquierda.

A partir del 0.8 hasta 1 se han considerado once tramos de igual longitud. Estas puntuaciones corresponden a las variables:

- a) Máxima apertura mandibular.
- b) Estiramiento pasivo en la apertura.
- c) Apertura torpe.
- d) Clínicamente puede trabarse en apertura.
- e) Clínicamente puede o está trabado en cierre.
- f) Dolor al protruir.
- g) Limitación a la lateralidad izquierda.
- h) Dolor a la palpación de la capsula posterior derecha.
- i) Dolor a la palpación de la capsula posterior izquierda.
- j) Dolor a la palpación de la capsula superior derecha.
- k) Dolor a la palpación de la capsula superior izquierda.

11. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor II (EFII). Se tienen veinte ítems. En la escala del cero al uno: Del 0 al 0.75 se han considerado sólo dos tramos de longitudes variables: 0.5 y 0.25. Para asumir estas puntuaciones se tienen en cuenta las siguientes variables:

- a) Dolor a la palpación anterior del masetero derecho.
- b) Dolor a la palpación anterior del masetero izquierdo.

Si sólo se marca una de ellas, sin importar cuál es, entonces asume el valor de 0.5. Si se marcan las dos, se asume el 0.25 faltante por esa variable marcada. A partir del 0.75 hasta 1 se han considerado dieciocho tramos de igual longitud.

Estas puntuaciones corresponden a las variables:

- a) Crepitación fina ATM derecha.
- b) Crepitación fina ATM izquierda.
- c) Dolor a la palpación de la capsula lateral derecha.
- d) Dolor a la palpación de la capsula lateral izquierda.
- e) Dolor a la palpación de la capsula posterior derecha.
- f) Dolor a la palpación de la capsula posterior izquierda.
- g) Dolor a la palpación de la capsula superior derecha.
- h) Dolor a la palpación de la capsula superior izquierda.
- i) Dolor a la palpación temporal anterior derecha.
- j) Dolor a la palpación temporal anterior izquierda.
- k) Dolor a la palpación temporal medio derecha.
- l) Dolor a la palpación temporal medio izquierda.
- m) Dolor a la palpación temporal posterior derecha.
- n) Dolor a la palpación temporal posterior izquierda.
- ñ) Dolor a la palpación del masetero profundo derecho.
- o) Dolor a la palpación del masetero profundo izquierdo.
- p) Dolor a la palpación del pterigoideo medial derecho.
- q) Dolor a la palpación del pterigoideo medial izquierdo.

12. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor III (EFIII).

Se tienen cinco ítems. En la escala del cero al uno: Del 0 al 0.75 se han considerado sólo dos tramos de longitudes variables: 0.5 y 0.25. Para asumir estas puntuaciones se tienen en cuenta las siguientes variables:

- a) Dolor a la palpación del pterigoideo lateral derecho.
- b) Dolor a la palpación del pterigoideo lateral izquierdo.

Si sólo se marca una de ellas, sin importar cuál es, entonces asume el valor de 0.5. Si se marcan las dos, se asume el 0.25 faltante por esa variable marcada. A partir del 0.75 hasta

1 se han considerado tres tramos de igual longitud. Estas puntuaciones corresponden a las variables:

- a) Crepitación fina ATM derecha.
- b) Crepitación fina ATM izquierda.
- c) Número de piezas presentes.

13. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor IV (EFIV). En la escala del cero al uno, se han considerado sólo dos tramos de igual longitud (0.5).

Estas puntuaciones corresponden a las variables:

- a) Dolor a la palpación en la inserción occipital derecha del trapecio.
- b) Dolor a la palpación en la inserción occipital izquierda del trapecio.

14. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor V (EFV). En la escala del cero al uno, se han considerado sólo dos tramos de igual longitud (0.5) Estas puntuaciones corresponden a las variables:

- a) Interferencia (lado no trabajo) (oclusión tipo de contacto lateral derecha)
- b) Interferencia (lado no trabajo) (oclusión tipo de contacto lateral izquierda)

15. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor VI (EFV I). En la escala del cero al uno, se han considerado sólo dos tramos de igual longitud (0.5) Estas puntuaciones corresponden a las variables:

- a) Chasquido reproducible cierre ATM derecha.
- b) Chasquido reproducible cierre ATM izquierda.

16. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor VII (EFV II). En la escala del cero al uno, se han considerado cuatro tramos de igual longitud (0.25) Estas puntuaciones corresponden a las variables:

- a) Dolor a la palpación del esternocleidomastoideo derecho.
- b) Dolor a la palpación del esternocleidomastoideo izquierdo.
- c) Dolor a la palpación de la inserción occipital derecha del esplenio.
- d) Dolor a la palpación de la inserción occipital izquierda del esplenio.

17. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor VIII (EFV III). En la escala del cero al uno, se han considerado sólo dos tramos de igual longitud (0.5) Estas puntuaciones corresponden a las variables:

- a) Interferencia (lado de trabajo) tipo de contacto lateral derecha.
- b) Interferencia (lado de trabajo) tipo de contacto lateral izquierda.

18. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor IX (EFIX). En la escala del cero al uno: Del 0 al 0.8 se han considerado sólo dos tramos de longitudes variables: 0.5 y 0.3. Para asumir estas puntuaciones se tienen en cuenta las siguientes variables:

- a) Dolor a la palpación del temporal anterior derecho.
- b) Dolor a la palpación del temporal anterior izquierdo.

Si sólo se marca una de ellas, sin importar cuál es, entonces asume el valor de 0.5. Si se marcan las dos, se asume el 0.3 faltante por esa variable marcada. A partir del 0.8 hasta 1 se ha considerado un solo tramo de longitud 0.2 Esta puntuación corresponde a la variable:

- a) Dolor a la palpación anterior del masetero izquierdo.

19. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor X (EFX). En la escala del 0 al 1, se han considerado dos tramos de igual longitud (0.5). Estas puntuaciones corresponden a las variables:

- a) Chasquido reciproco en ATM Derecha.
- b) Chasquido reciproco en ATM Izquierda.

20. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor XI (EFXI). En la escala del 0 al 1, se han considerado sólo dos tramos de igual longitud (0.5) Estas puntuaciones corresponden a las variables:

- a) Crepitación gruesa en ATM Derecha.
- b) Céntrica contacto coincidente en apertura.

21. Índice (CraneoMandibular) de Friction (ICM). Variable cuantitativa continua que según Friction (tabla 2.3.2), se define como el promedio entre el índice de disfunción y el índice de palpación y es el resultado para medir el avance de la enfermedad Temporomandibular.

$$ICM = \frac{ID + IP}{2}$$

El rango de esta variable va de cero a uno.

2.3.2. PASOS 2 Y 3: DEFINICIÓN DE RANGOS Y VALORES LINGÜÍSTICOS DE LAS VARIABLES Y ASIGNACIÓN DE FUNCIONES DE PERTENENCIA A LOS MISMOS

Se clasificaran de acuerdo a dos criterios, variables de entrada y variables de salida.

2.3.2.1. VARIABLES DE ENTRADA

1. Índice de Disfunción (Figura 2.3.10):

Criterio de construcción: Para ser considerado como alto, el índice debe de superar las dos terceras partes en escala de uno.

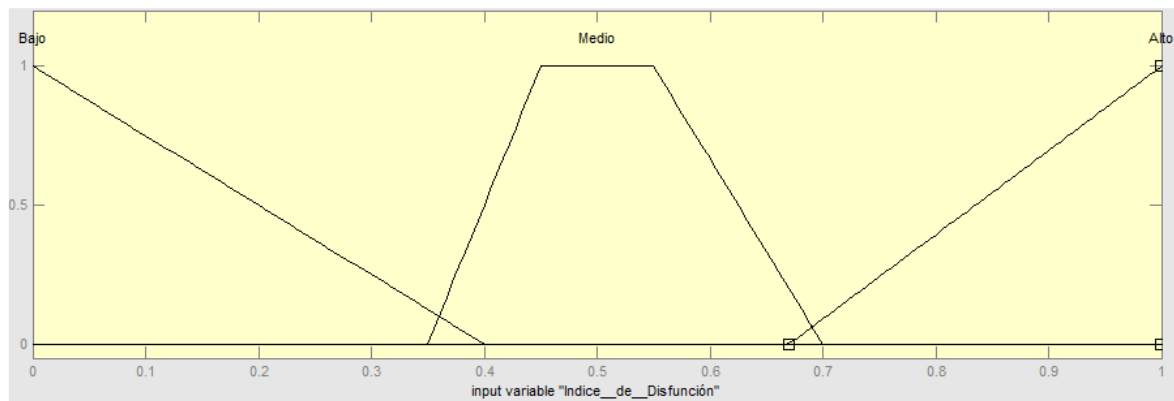


Figura 2.3.10: Gráfico de funciones de pertenencia del índice de disfunción.

2. Índice de Palpación (Figura 2.3.11):

Criterio de construcción: Para ser considerado como alto, el índice debe de superar el sesenta por ciento, y no debe de exceder del treinta por ciento para ser considerado como bajo.

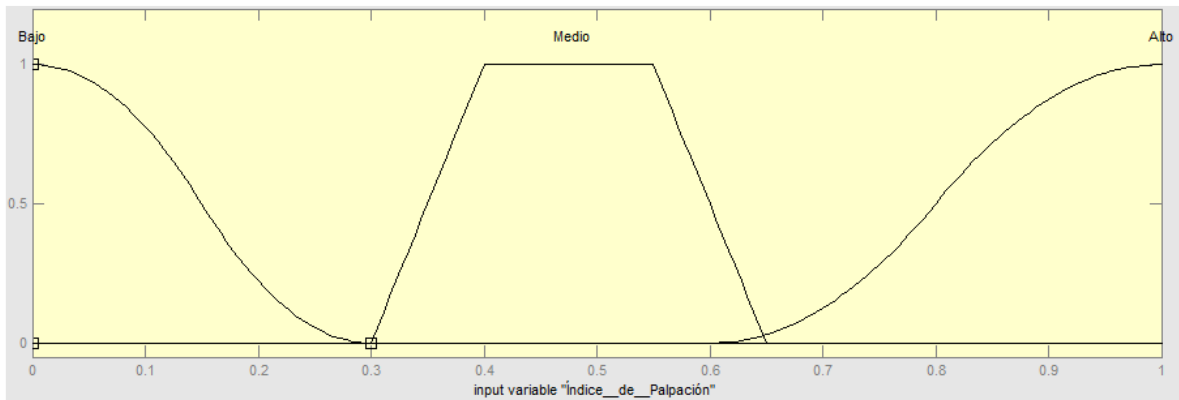


Figura 2.3.11: Gráfico de funciones de pertenencia del índice de palpación.

3. Componente del Trastorno en Movimientos Mandibulares (Figura 2.3.12):

Criterio de construcción: En una escala del cero hasta el dieciséis es relativamente bajo hasta tres, luego ya se podría ir considerando como medio. Entre siete a nueve alcanza el consenso como medio, teniendo su límite superior a once. Para la media, este componente empieza a ser alto a partir del diez.

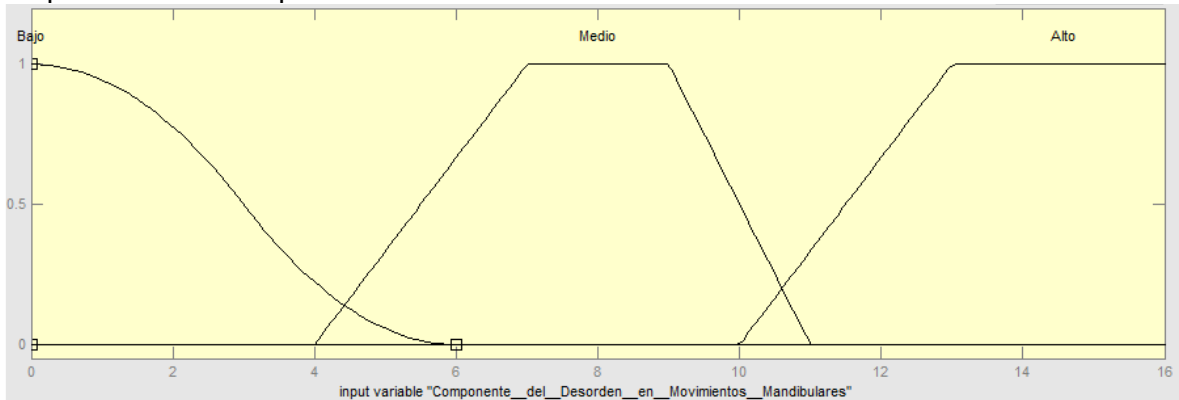


Figura 2.3.12: Gráfico de funciones de pertenencia del componente del trastorno en movimientos mandibulares.

4. Componente del Trastorno en Cápsula Articular (Figura 2.3.13):

Criterio de construcción: Bajo y alto definen la mitad de los ítems a evaluar.

Gráfico de las funciones de pertenencia: Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto, Muy Alto.

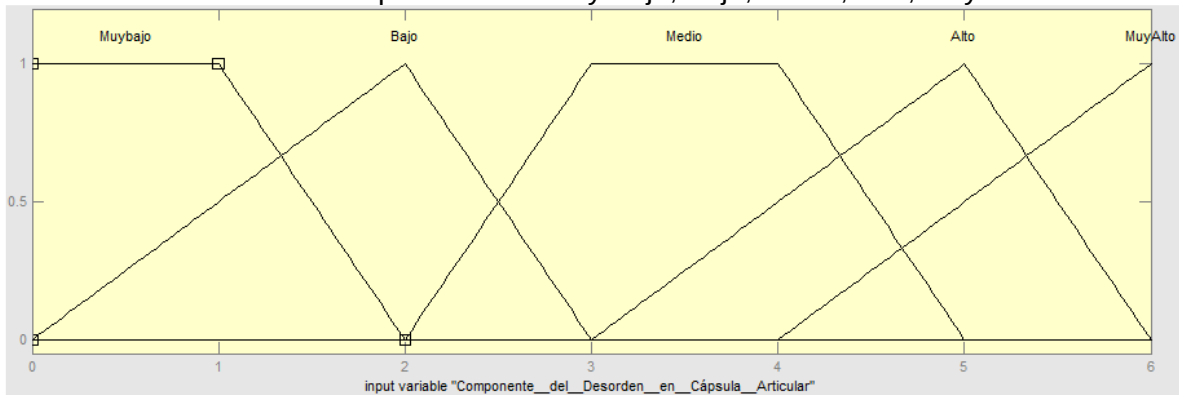


Figura 2.3.13: Gráfico de funciones de pertenencia del componente del trastorno en cápsula articular.

5. Componente del Trastorno en Ruido Articular (Figura 2.3.14):

Criterio de construcción: Bajo y alto definen la mitad de los ítems a evaluar.

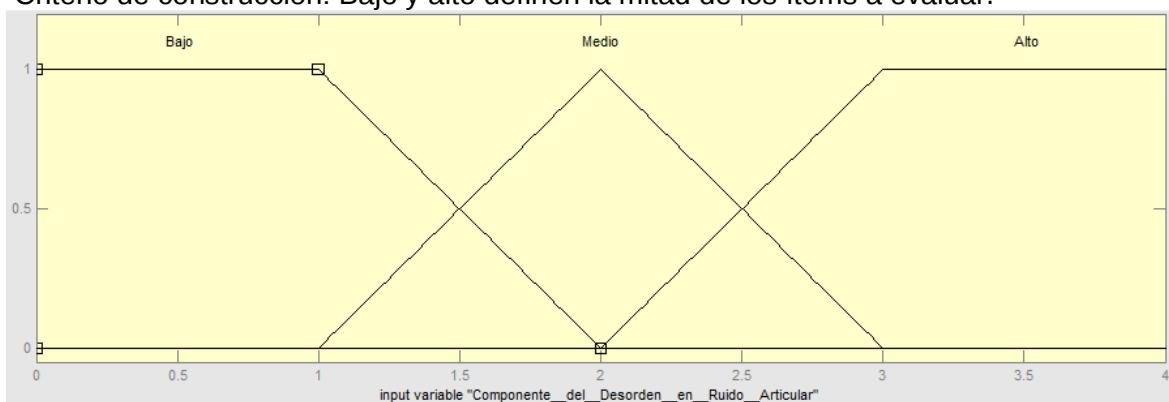


Figura 2.3.14: Gráfico de funciones de pertenencia del componente del trastorno en ruido articular.

6. Componente del Trastorno en Palpación Extraoral de los Músculos Mandibulares (Figura 2.3.15):

Criterio de construcción: Bajo es obtenido en cumbres entre cero y cuatro, mientras que medio en diez, y alto a partir de dieciséis. Cuatro puntuaciones de tolerancia entre bajo y medio, la función medio crece y decrece un poco más lento puesto que esta palpación se debe tornar alta cuando en verdad lo amerite.

Gráfico de las funciones de pertenencia: Bajo, Medio, Alto.

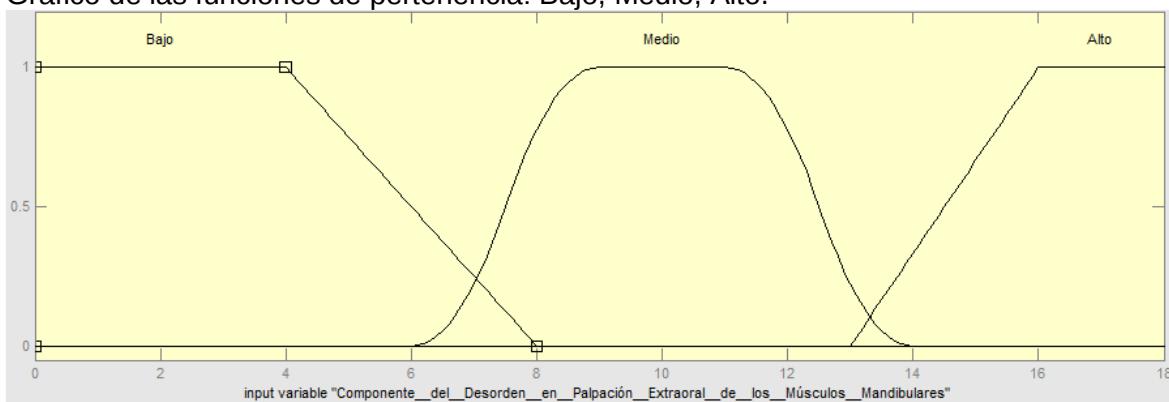


Figura 2.3.15: Gráfico de funciones de pertenencia del componente del trastorno en palpación Extraoral de los músculos mandibulares.

7. Componente del Trastorno en Palpación Intraoral de los Músculos Mandibulares (Figura 2.3.16):

Criterio de construcción: Bajo y alto debe decrecer y crecer linealmente para intersecciones entre funciones de membresía.

Gráfico de las funciones de pertenencia: Bajo, Alto.

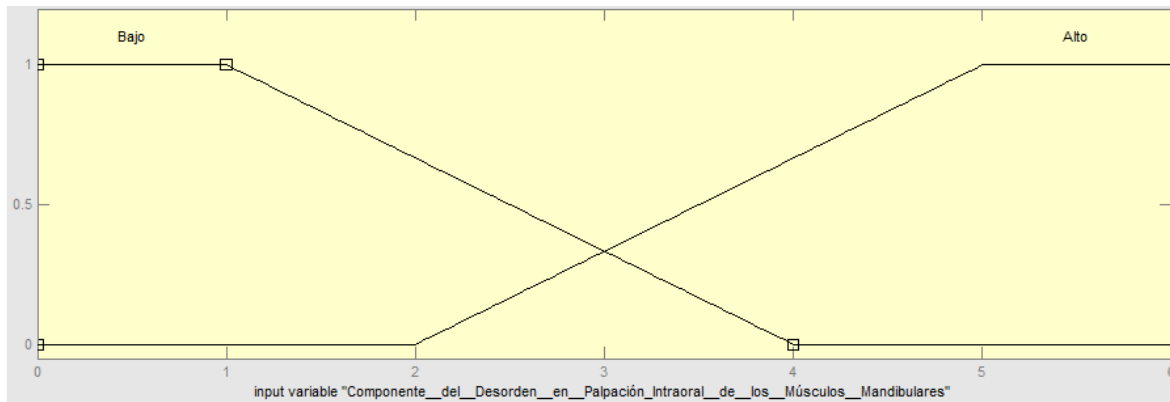


Figura 2.3.16: Gráfico de funciones de pertenencia del componente del trastorno en palpación Intraoral de los músculos mandibulares.

8. Componente del Trastorno en Palpación de los Músculos de la Nuca (Figura 2.3.17):

Criterio de construcción: Alto debe ser construido a partir de las dos terceras partes de la escala de ítems. Bajo debe adquirir relativa importancia.

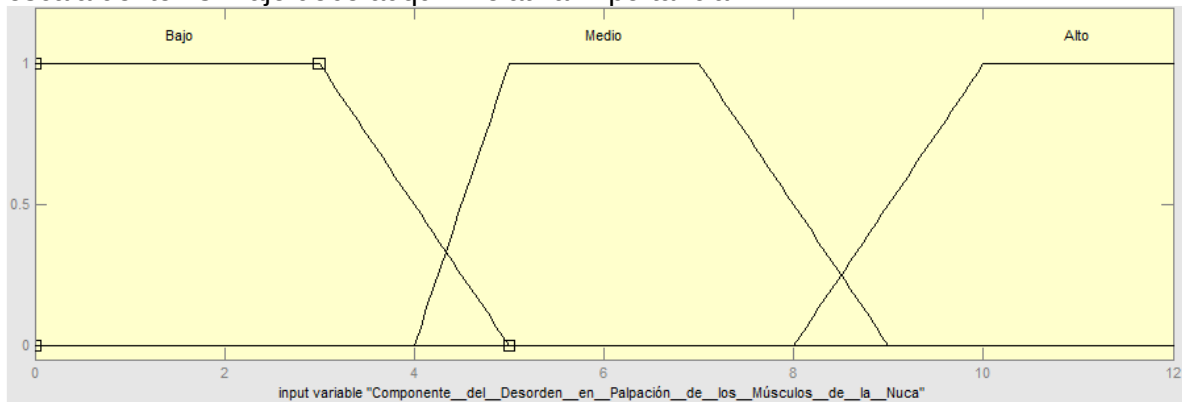


Figura 2.3.17: Gráfico de funciones de pertenencia del componente del trastorno en palpación de los músculos de la nuca.

9. Índice de Examen Oclusal (Figura 2.3.18):

Criterio de construcción: Medido sobre una escala desde el cero al diecinueve, este índice Oclusal ya es considerado como alto desde la mitad. Su escala de ítems de dicho examen ha sido desarrollada con muchos condicionamientos por lo que de incidir sobre la media de ellos puede indicar problemas de algún tipo en la oclusión.

Gráfico de las funciones de pertenencia: Bajo, Medio, Alto.

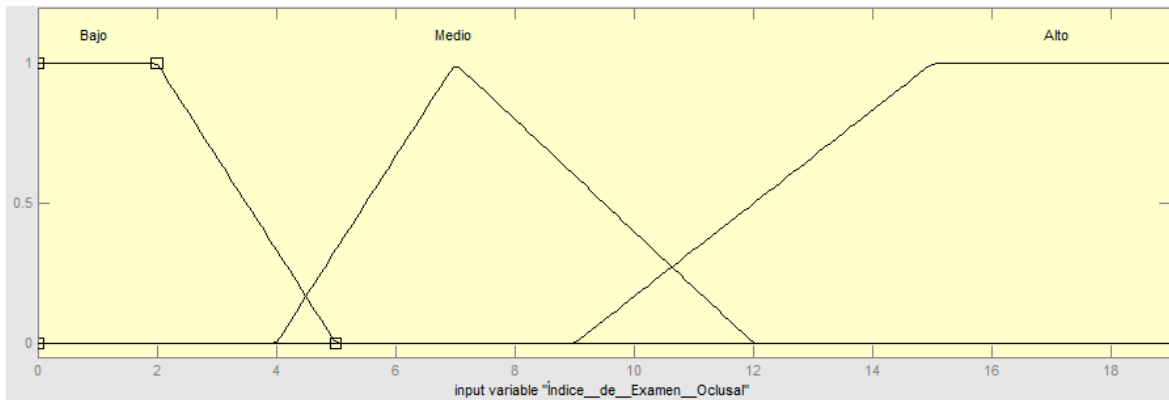


Figura 2.3.18: Gráfico de funciones de pertenencia del índice de examen Oclusal.

Todos los patrones de incidencia experto-factorial sobre los once factores tienen el mismo criterio de construcción. En la medición sobre la escala de los índices existe el punto medio, a la izquierda de él, debe de decrecer linealmente sin probabilidad de cruce, mientras que a la derecha debe de crecer lentamente.

10. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor I (Figura 2.3.19):

Gráfico de las funciones de pertenencia: Bajo, Alto.

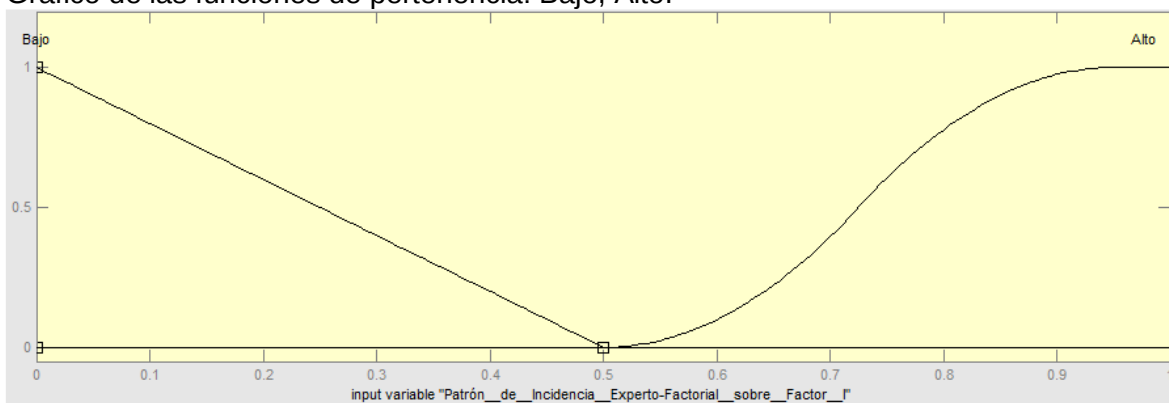


Figura 2.3.19: Grafico de funciones de pertenencia del patrón de incidencia experto-factorial sobre factor I.

11. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor II (Figura 2.3.20):

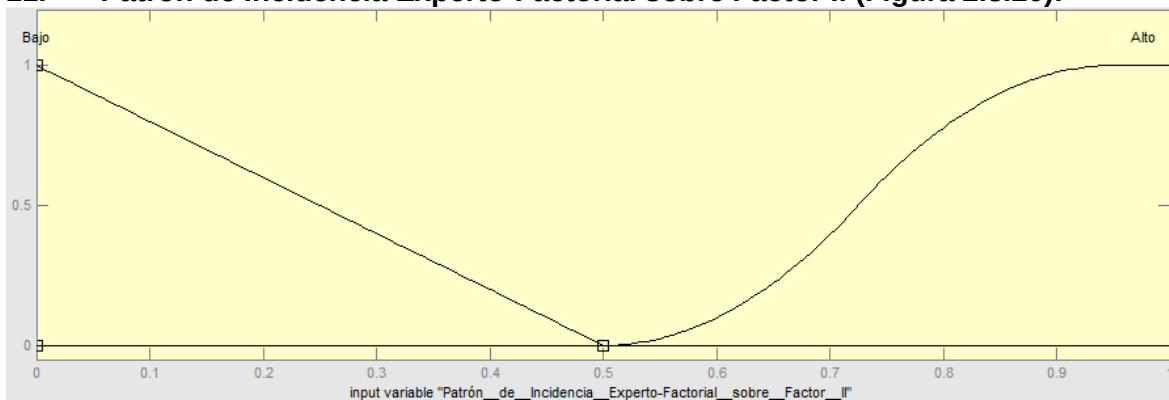


Figura 2.3.20: Grafico de funciones de pertenencia del patrón de incidencia experto-factorial sobre factor II.

12. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor III (Figura 2.3.21):

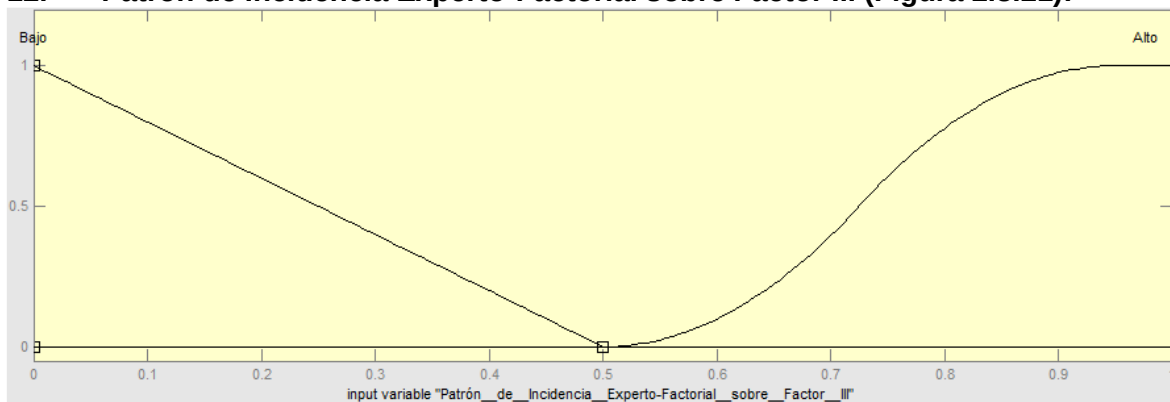


Figura 2.3.21: Gráfico de funciones de pertenencia del patrón de incidencia experto-factorial sobre factor III.

13. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor IV (Figura 2.3.22):

Gráfico de las funciones de pertenencia: Bajo, Alto.

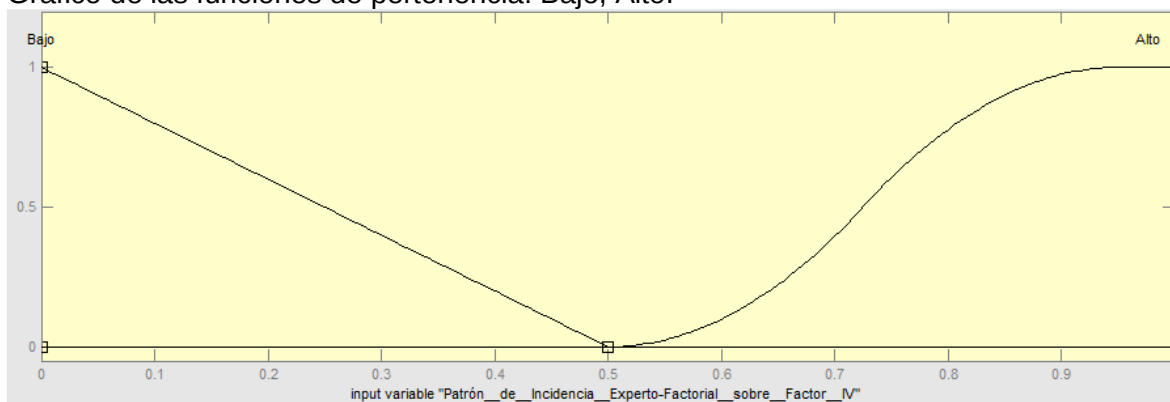


Figura 2.3.22: Gráfico de funciones de pertenencia del patrón de incidencia experto-factorial sobre factor IV.

14. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor V (Figura 2.3.23):

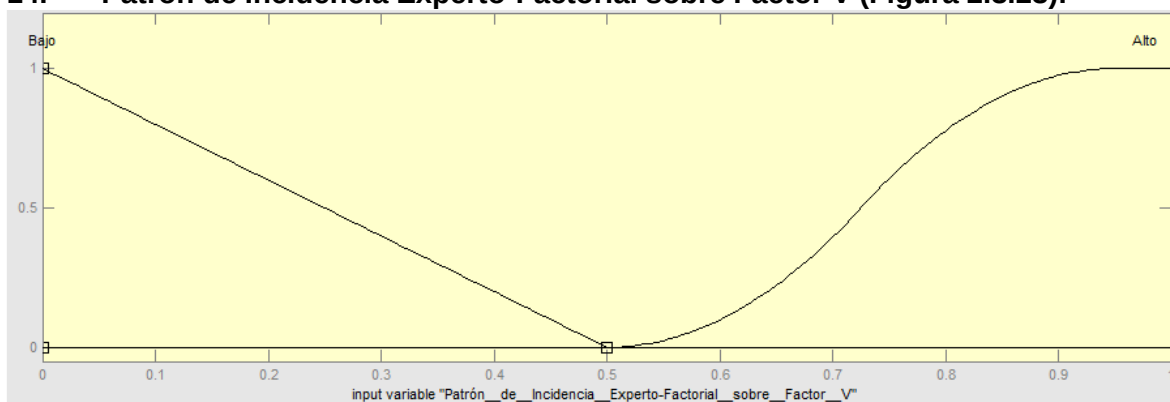


Figura 2.3.23: Gráfico de funciones de pertenencia del patrón de incidencia experto-factorial sobre factor V.

15. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor VI (Figura 2.3.24):

Gráfico de las funciones de pertenencia: Bajo, Alto.

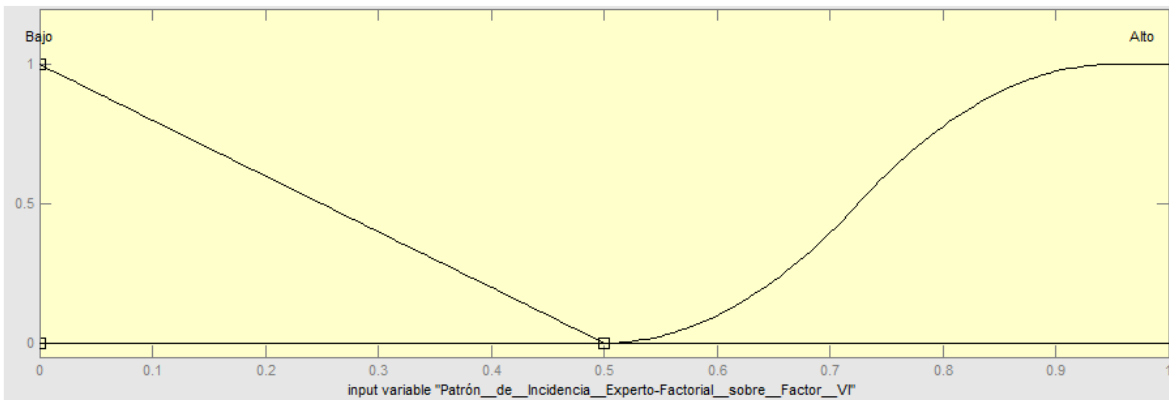


Figura 2.3.24: Grafico de funciones de pertenencia del patrón de incidencia experto-factorial sobre factor VI.

16. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor VII (Figura 2.3.25):
Gráfico de las funciones de pertenencia: Bajo, Alto.

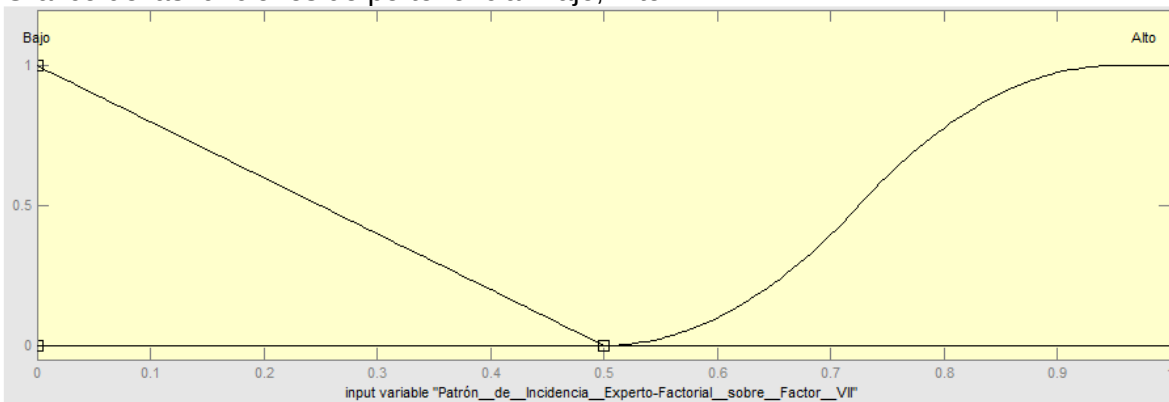


Figura 2.3.25: Grafico de funciones de pertenencia del patrón de incidencia experto-factorial sobre factor VII.

17. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor VIII (Figura 2.3.26):

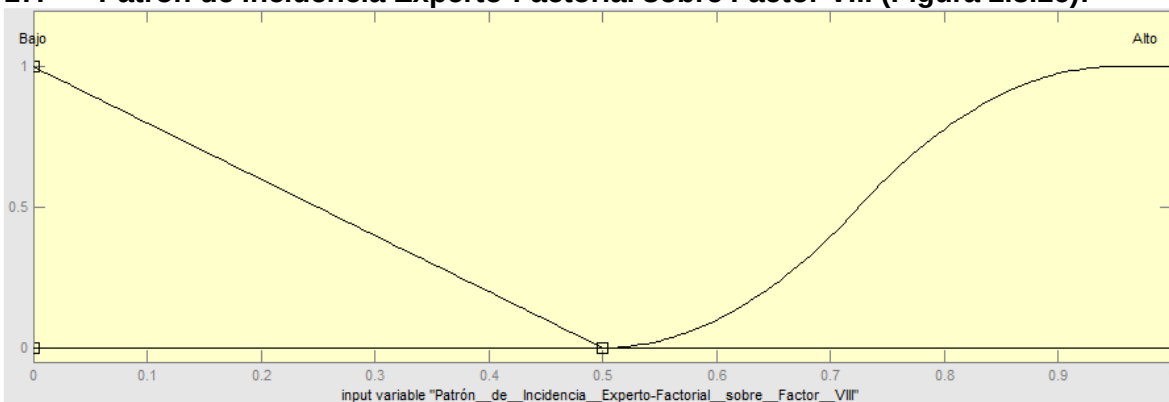


Figura 2.3.26: Grafico de funciones de pertenencia del patrón de incidencia experto-factorial sobre factor VIII.

18. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor IX (Figura 2.3.27):

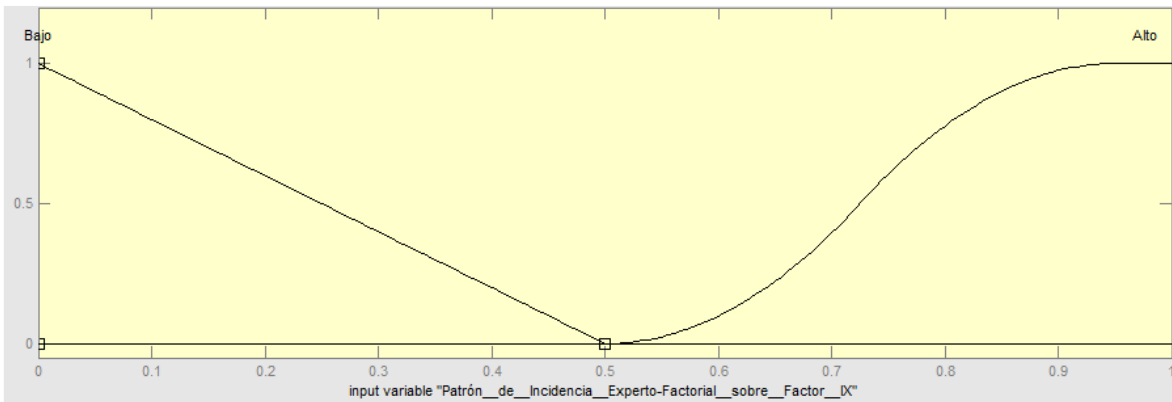


Figura 2.3.27: Grafico de funciones de pertenencia del patrón de incidencia experto-factorial sobre factor IX.

19. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor X (Figura 2.3.28):

Gráfico de las funciones de pertenencia: Bajo, Alto.

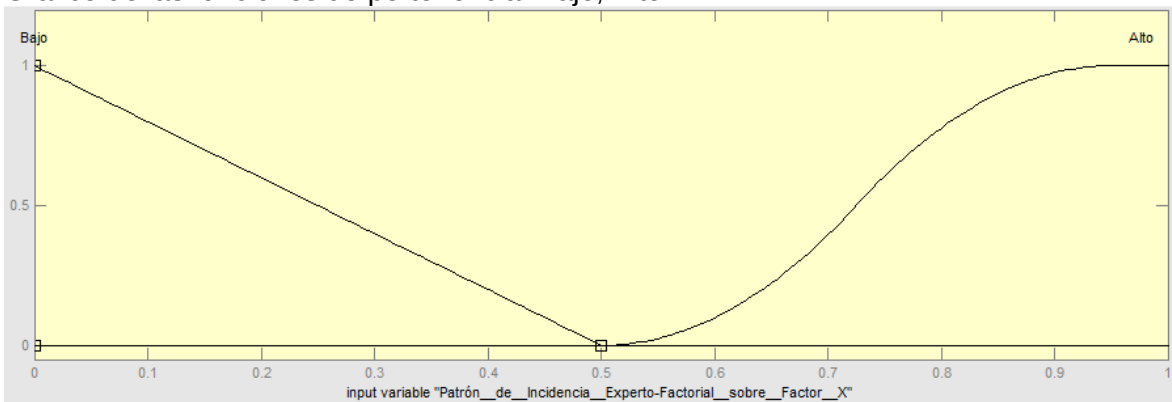


Figura 2.3.28: Grafico de funciones de pertenencia del patrón de incidencia experto-factorial sobre factor X.

20. Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor XI (Figura 2.3.29):

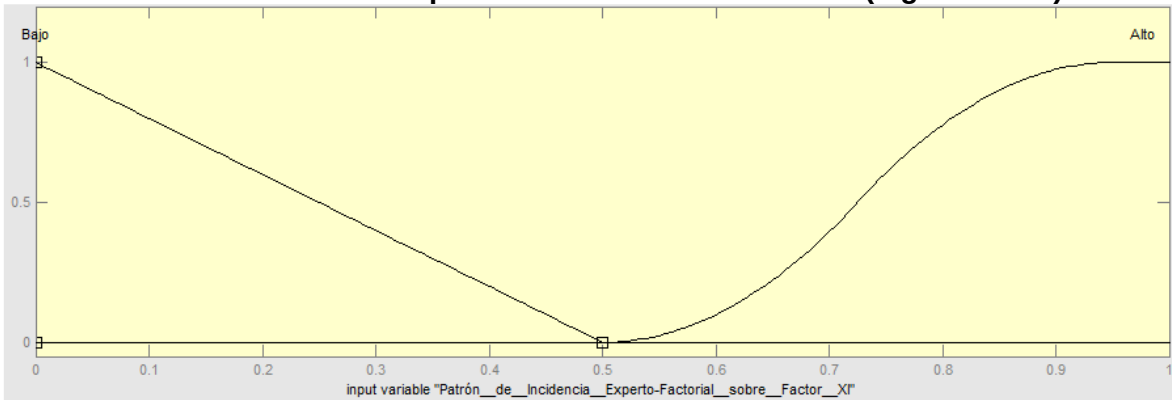


Figura 2.3.29: Grafico de funciones de pertenencia del patrón de incidencia experto-factorial sobre factor XI.

21. Índice de Friction (Figura 2.3.30):

Criterio de construcción: El índice de Friction presenta algunas distorsiones aun siendo funciones lineales dado que según se ha definido de momento es una buena escala de medición de los desórdenes Temporomandibulares. Todas las medidas de los once factores

son desiguales, por dicho motivo la gráfica debe iniciarse como bajo a partir de la escala del 0.1.

Gráfico de las funciones de pertenencia: Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto, Muy Alto.

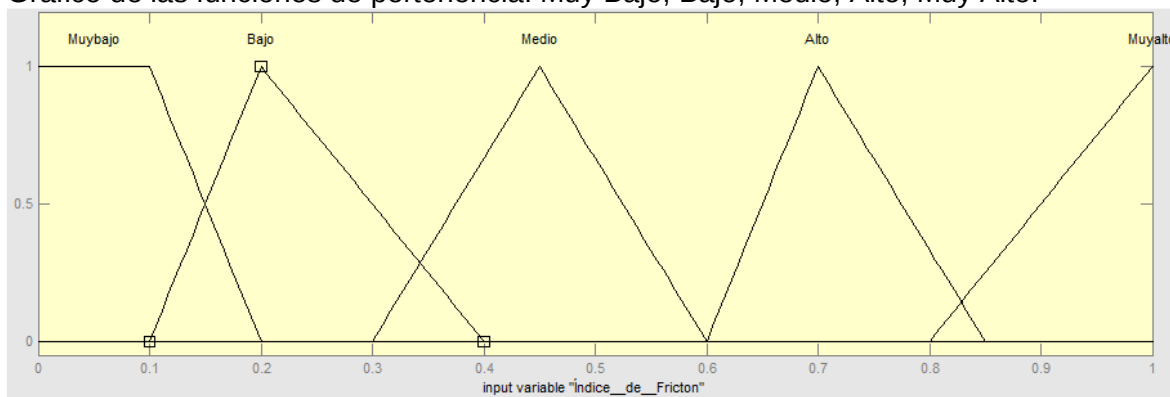


Figura 2.3.30: Gráfico de funciones de pertenencia del índice de Fricton.

2.3.2.2. VARIABLES DE SALIDA

1. Trastorno Inflamatorio Articular con Trastorno Funcional Mandibular (Figura 2.3.31)

Criterio de construcción: Usualmente tiene una gravedad de 0.25 en la escala de uno, según el índice de Fricton.

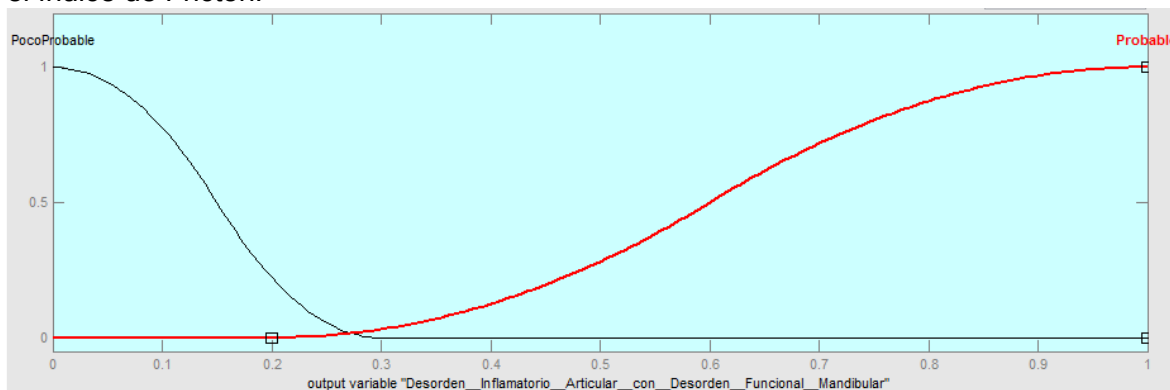


Figura 2.3.31: Gráfico de funciones de pertenencia del trastorno inflamatorio articular con trastorno funcional mandibular.

2. Trastorno Crónico Degenerativo Articular con Trastorno Muscular Mandibular por Probable ParaFunción (Figura 2.3.32)

Criterio de construcción: Usualmente tiene una gravedad de 0.45 en la escala de uno, según el índice de Fricton.

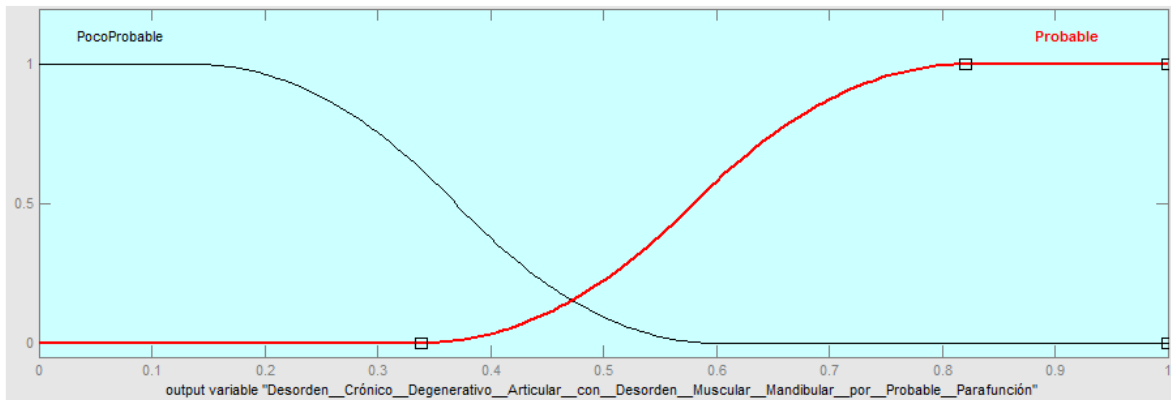


Figura 2.3.32: Gráfico de funciones de pertenencia del trastorno crónico degenerativo articular con trastorno muscular por probable ParaFunción.

3. Trastorno Degenerativo Crónico con Trastorno Muscular y Funcional Mandibular con Alteración de la Estabilidad Oclusal (Figura 2.3.33)

Criterio de construcción: Usualmente tiene una gravedad de 0.55 en la escala de uno, según el índice de Fricton.

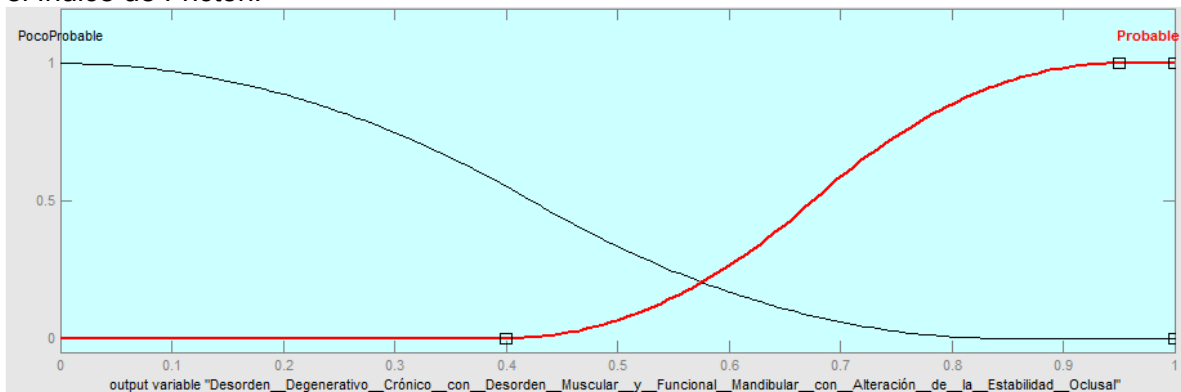


Figura 2.3.33: Grafico de funciones de pertenencia del trastorno crónico con trastorno muscular funcional mandibular con alteración de la estabilidad Oclusal.

4. Trastorno Crónico de los Músculos de la Nuca (Figura 2.3.34)

Criterio de construcción: Usualmente tiene una gravedad de 0.45 en la escala de uno, según el índice de Fricton.

Gráfico de las funciones de pertenencia: Poco Probable, Probable.

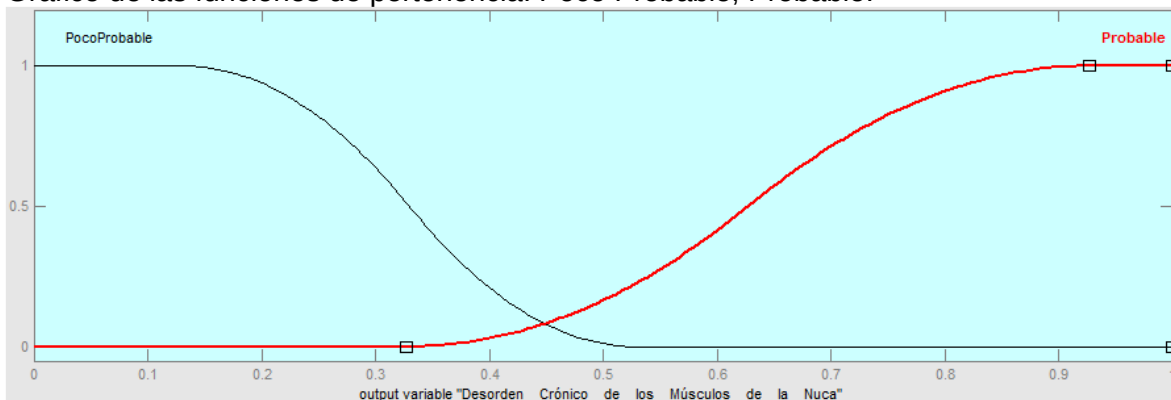


Figura 2.3.34: Grafico de funciones de pertenencia del trastorno crónico de los músculos de la nuca.

5. Trastorno Crónico Oclusal en Movimientos Excéntricos (Lateralidad Lado No Trabajo y Protrusiva) (Figura 2.3.35)

Criterio de construcción: Usualmente tiene una gravedad de 0.45 en la escala de uno, según el índice de Friction.

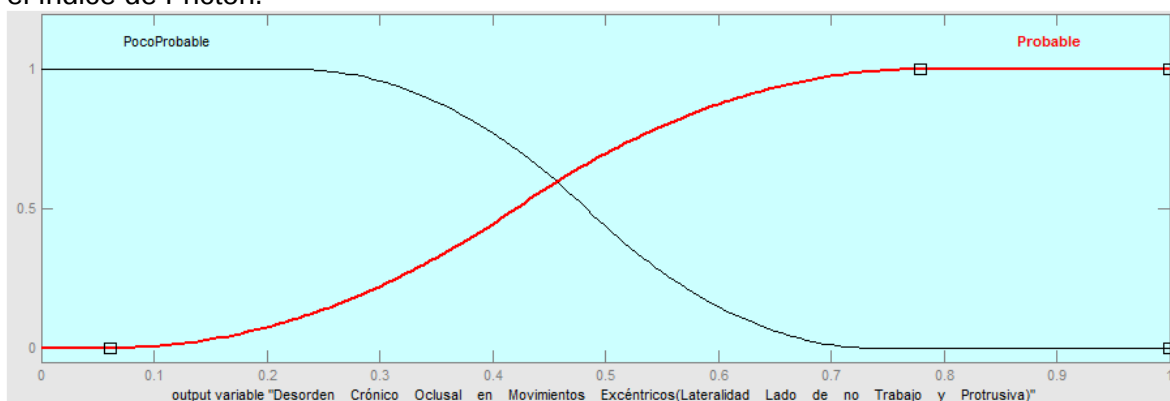


Figura 2.3.35: Gráfico de funciones de pertenencia del trastorno crónico Oclusal en movimientos excéntricos de lateralidad lado no trabajo y protrusiva.

6. Trastorno Crónico Articular de Desarreglo Cóndilo-Disco (Cierre) (Figura 2.3.36)

Criterio de construcción: Usualmente tiene una gravedad de 0.45 en la escala de uno, según el índice de Friction.

Gráfico de las funciones de pertenencia: Poco Probable, Probable.

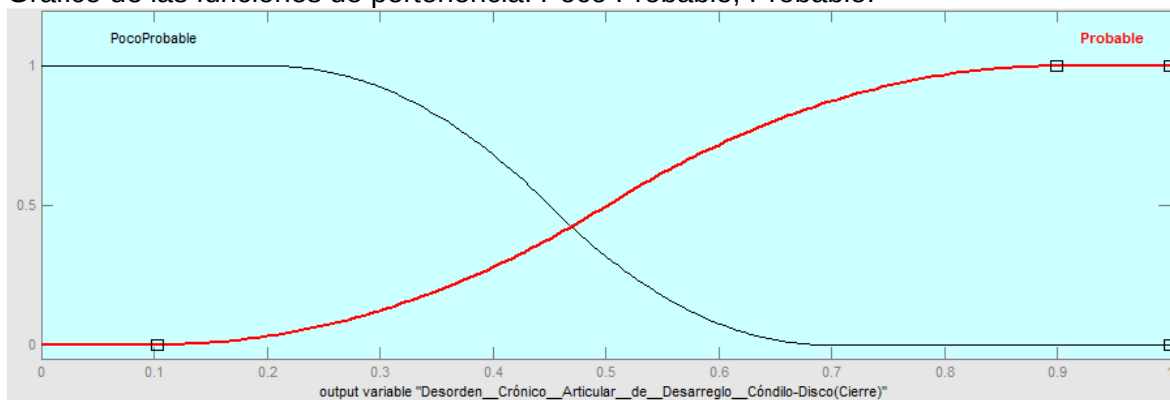


Figura 2.3.36: Gráfico de funciones de pertenencia del trastorno crónico articular de desarreglo cóndilo-disco.

7. Trastorno Crónico con Sintomatología Muscular Cervical (Figura 2.3.37)

Criterio de construcción: Usualmente tiene una gravedad de 0.45 en la escala de uno, según el índice de Friction.

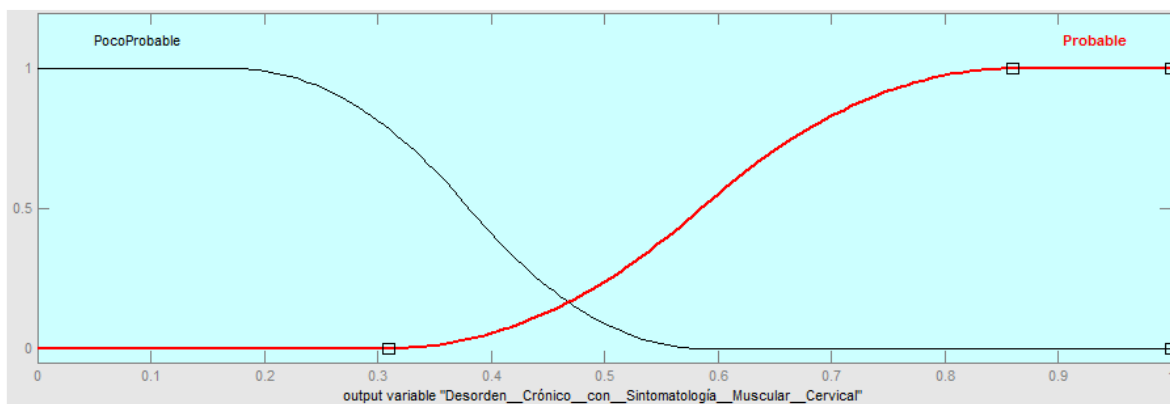


Figura 2.3.37: Gráfico de funciones de pertenencia del trastorno crónico con sintomatología muscular cervical.

8. Alteración Crónica Oclusal en Movimientos Excéntricos (Lateralidad Lado de Trabajo) (Figura 2.3.38)

Criterio de construcción: Usualmente tiene una gravedad de 0.5 en la escala de uno, según el índice de Friction.

Gráfico de las funciones de pertenencia: Poco Probable, Probable.

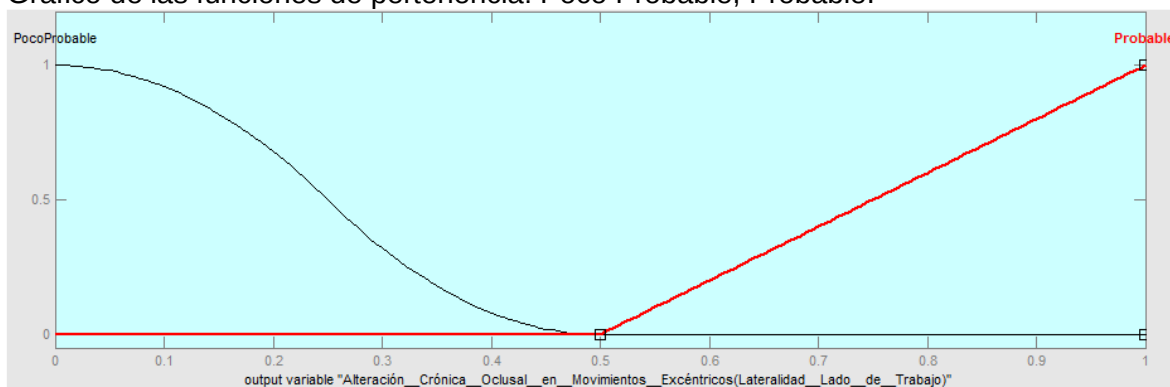


Figura 2.3.38: Gráfico de funciones de pertenencia de la alteración crónica Oclusal en movimientos excéntricos de lateralidad lado de trabajo.

9. Trastorno Crónico con Trastorno Muscular Masticatorio (Figura 2.3.39)

Criterio de construcción: Usualmente tiene una gravedad de 0.45 en la escala de uno, según el índice de Friction.

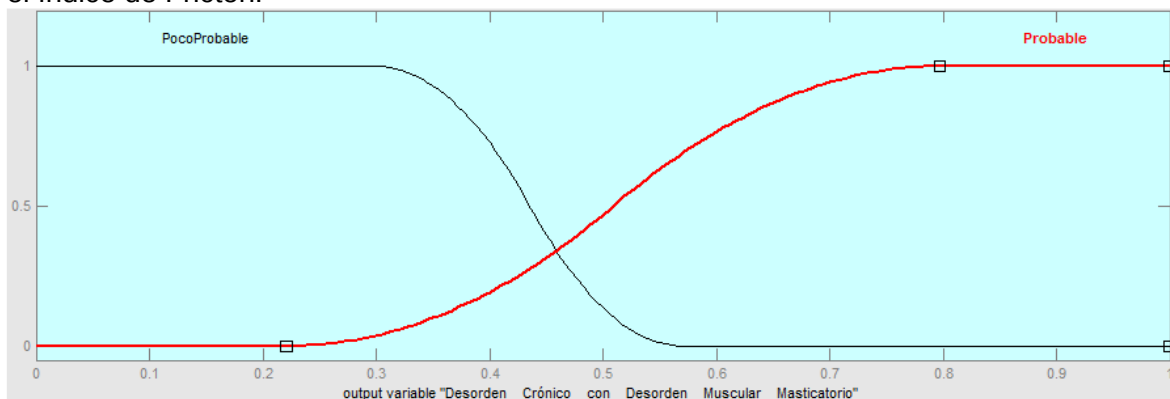


Figura 2.3.39: Grafico de funciones de pertenencia del trastorno crónico con trastorno muscular masticatorio.

10. Trastorno Crónico Articular de Desarreglo Cóndilo-Disco (Apertura, Cierre, Lateralidad) (Figura 2.3.40)

Criterio de construcción: Usualmente tiene una gravedad de 0.5 en la escala de uno, según el índice de Fricton.

Gráfico de las funciones de pertenencia: Poco Probable, Probable.

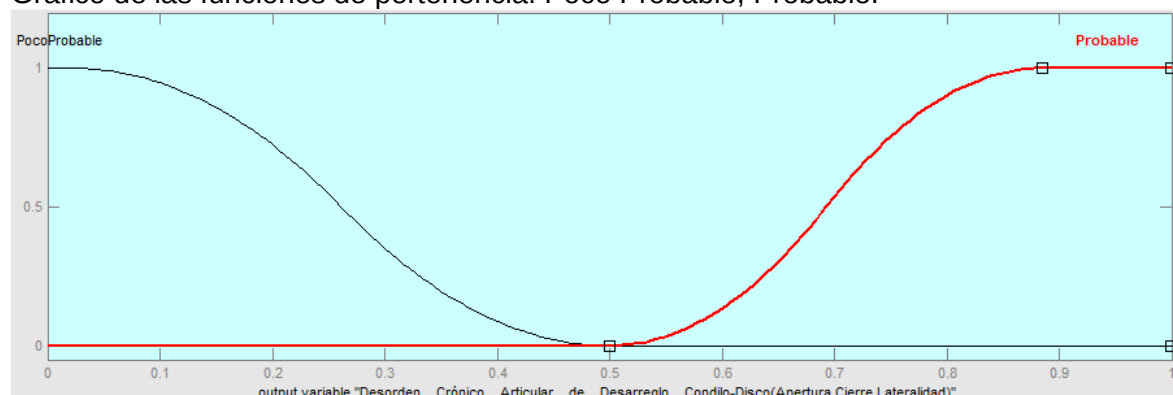


Figura 2.3.40: Grafico de funciones de pertenencia del trastorno crónico articular de desarreglo cóndilo-disco de apertura, cierre, lateralidad.

11. Trastorno Crónico Degenerativo con Alteración de la Estabilidad Oclusal (Figura 2.3.41)

Criterio de construcción: Usualmente tiene una gravedad de 0.425 en la escala de uno, según el índice de Fricton.

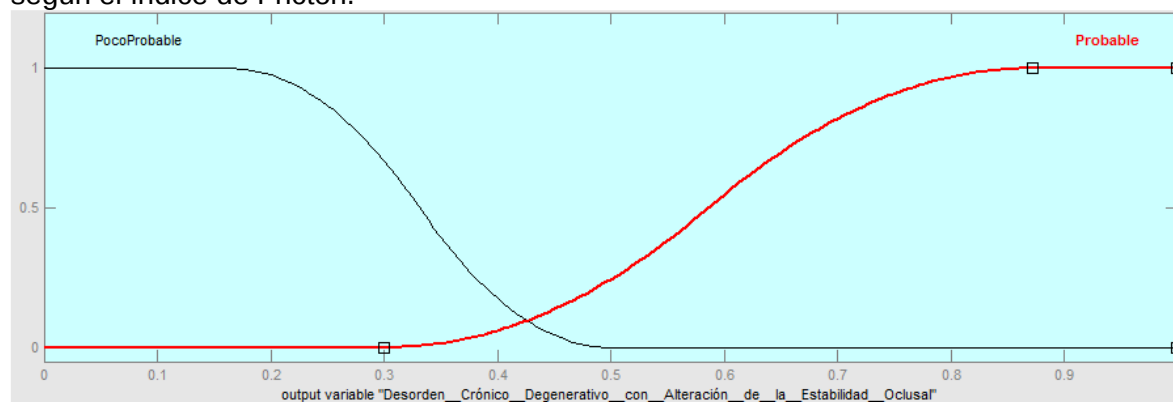


Figura 2.3.41: Grafico de funciones de pertenencia del trastorno degenerativo con alteración de la estabilidad Oclusal.

2.3.3. PASO 4: CONSTRUCCIÓN DE BASE DE REGLAS

Esquema lógico del factor 1:

$$[(p \wedge q) \vee (r \wedge s) \vee t] \wedge u \rightarrow F1 \equiv [p \wedge q \wedge u] \vee [r \wedge s \wedge u] \vee [t \wedge u] \rightarrow F1$$

Reglas referidas al factor 1:

a) Si Índice de Disfunción es Bajo y Índice de Palpación es Bajo y Índice de Friction es Bajo, entonces Trastorno Inflamatorio Articular con Trastorno Funcional Mandibular es Probable.

Esquema lógico: $p \wedge q \wedge u \rightarrow F1$

b) Si Componente del Trastorno en Movimientos Mandibulares es Bajo y Componente del Trastorno en Capsula Articular es Muy Bajo e Índice de Friction es Bajo, entonces Trastorno Inflamatorio Articular con Trastorno Funcional Mandibular es Probable.

Esquema lógico: $r \wedge s \wedge u \rightarrow F1$

c) Si Patrón de Incidencia Experto Factorial sobre Factor I es Alto e Índice de Friction es Bajo entonces Trastorno Inflamatorio Articular con Trastorno Funcional Mandibular es Probable.

Esquema lógico: $t \wedge u \rightarrow F1$

d) Si Patrón de Incidencia Experto Factorial sobre Factor I es Bajo e Índice de Friction es Muy Bajo, entonces Trastorno Inflamatorio Articular con Trastorno Funcional Mandibular es Poco Probable.

Esquema lógico: $v \wedge w \rightarrow \sim F1$

Esquema lógico del factor 2:

$$[(p \wedge q) \vee (r \wedge s \wedge t \wedge u) \wedge w] \wedge w \rightarrow F2 \equiv [p \wedge q \wedge w] \vee [r \wedge s \wedge t \wedge u \wedge w] \vee [v \wedge w] \rightarrow F2$$

Reglas referidas al factor 2:

a) Si Índice de Disfunción es Medio y índice de Palpación es Alto, entonces Trastorno Crónico Degenerativo Articular con Trastorno Muscular Mandibular por Probable ParaFunción es Probable.

Esquema lógico: $p \wedge q \wedge w \rightarrow F2$

b) Si Componente del Trastorno en Capsula Articular es Medio y Componente del Trastorno en Ruido Articular es Medio y Componente del Trastorno en Palpación Extraoral de los Músculos Mandibulares es Medio y Componente del Trastorno en Palpación Intraoral de los Músculos Mandibulares es Bajo e índice de Friction es Alto, entonces Trastorno Crónico Degenerativo Articular con Trastorno Muscular Mandibular por Probable ParaFunción es Probable.

Esquema lógico: $r \wedge s \wedge t \wedge u \wedge w \rightarrow F2$

c) Si Patrón de Incidencia Experto Factorial sobre Factor II es Alto e índice de Friction es Alto, entonces Trastorno Crónico Degenerativo Articular con Trastorno Muscular Mandibular por Probable ParaFunción es Probable.

Esquema lógico: $v \wedge w \rightarrow F2$

d) Si Patrón de Incidencia Experto Factorial sobre Factor II es Bajo e índice de Friction es Muy Alto, entonces Trastorno Crónico Degenerativo Articular con Trastorno Muscular Mandibular por Probable ParaFunción es Poco Probable.

Esquema lógico: $x \wedge y \rightarrow \sim F2$

Esquema lógico del factor 3:

$$[(p \wedge q) \vee (r \wedge s \wedge t \wedge u \wedge v) \wedge w] \wedge x \rightarrow F3 \equiv (p \wedge q \wedge x) \vee (r \wedge s \wedge t \wedge u \wedge v \wedge x) \vee (w \wedge x) \rightarrow F3$$

Reglas referidas al factor 3:

a) Si índice de Disfunción es Alto e índice de Palpación es Alto e índice de Friction es Muy Alto, entonces trastorno Degenerativo Crónico con Trastorno Muscular y Funcional Mandibular con Alteración de la Estabilidad Oclusal es Probable.

Esquema lógico: $p \wedge q \wedge x \rightarrow F3$

b) Si Componente del Trastorno en Movimientos Mandibulares es Alto y Componente del Trastorno en Palpación Extraoral de los Músculos Mandibulares es Alto y Componente del Trastorno en Palpación Intraoral de los Músculos Mandibulares es Alto y Componente del Trastorno en Palpación de los Músculos de la Nuca es Alto e índice de Examen Oclusal es Alto e índice de Friction es Muy Alto, entonces Trastorno Degenerativo Crónico con Trastorno Muscular y Funcional Mandibular con Alteración de la Estabilidad Oclusal es Probable.

Esquema lógico: $r \wedge s \wedge t \wedge u \wedge v \wedge x \rightarrow F3$

c) Si Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor III es Alto e Índice de Friction es Muy Alto, entonces Trastorno Degenerativo Crónico con Trastorno Muscular y Funcional Mandibular con Alteración de la Estabilidad Oclusal es Probable.

Esquema lógico: $w \wedge x \rightarrow F3$

d) Si Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor III es Bajo e índice de Friction es Alto, entonces Trastorno Degenerativo Crónico con Trastorno Muscular y Funcional Mandibular con Alteración de la Estabilidad Oclusal es Poco Probable.

Esquema lógico: $y \wedge z \rightarrow \sim F3$

Esquema lógico del factor 4:

$$[p \vee q \vee r] \wedge s \rightarrow F4 \equiv (p \wedge s) \vee (q \wedge s) \vee (r \wedge s) \rightarrow F4$$

Reglas referidas al factor 4:

a) Si índice de Palpación es Bajo e índice de Friction es Medio, entonces Trastorno Crónico de los Músculos de la Nuca es Probable.

Esquema lógico: $p \wedge s \rightarrow F4$

b) Si Componente del Trastorno en Palpación de los Músculos de la Nuca es Bajo e índice de Friction es Medio, entonces Trastorno Crónico de los Músculos de la Nuca es Probable.

Esquema lógico: $q \wedge s \rightarrow F4$

c) Si Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor IV es Alto e índice de Friction es Medio, entonces Trastorno Crónico de los Músculos de la Nuca es Probable.

Esquema lógico: $r \wedge s \rightarrow F4$

d) Si Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor IV es Bajo e índice de Friction es Bajo, entonces Trastorno Crónico de los Músculos de la Nuca es Poco Probable.

Esquema lógico: $t \wedge u \rightarrow \sim F4$

Esquema lógico del factor 5:

$$p \vee q \vee r \rightarrow F5$$

Reglas referidas al factor 5:

a) Si índice de Disfunción es Alto o índice de Examen Oclusal es Medio o Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor V es Alto, entonces Trastorno Crónico Oclusal en Movimientos Excéntricos (Lateralidad Lado de no Trabajo y Protrusiva) es Probable.

Esquema lógico: $p \vee q \vee r \rightarrow F5$

b) Si Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor V es Bajo e índice de Friction es Medio, entonces Trastorno Crónico Oclusal en Movimientos Excéntricos (Lateralidad Lado de no Trabajo y Protrusiva) es Poco Probable.

Esquema lógico: $s \wedge t \rightarrow \sim F5$

Esquema lógico del factor 6:

$$[(p \wedge q) \vee (r \wedge s) \vee t] \wedge u \rightarrow F6 \equiv (p \wedge q \wedge u) \vee (r \wedge s \wedge u) \vee (t \wedge u) \rightarrow F6$$

Reglas referidas al factor 6:

a) Si índice de Disfunción es Bajo e índice de Palpación es Alto e índice de Friction es Alto, entonces Trastorno Crónico Articular de Desarreglo Cóndilo-Disco (Cierre) es Probable.

Esquema lógico: $p \wedge q \wedge u \rightarrow F6$

b) Si Componente del Trastorno en Capsula Articular es Bajo y Componente del Trastorno en Ruido Articular es Bajo e índice de Friction es Alto, entonces Trastorno Crónico Articular de Desarreglo Cóndilo-Disco (Cierre) es Probable.

Esquema lógico: $r \wedge s \wedge u \rightarrow F6$

c) Si Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor VI es Alto e índice de Friction es Alto, entonces Trastorno Crónico Articular de Desarreglo Cóndilo-Disco (Cierre) es Probable.

Esquema lógico: $t \wedge u \rightarrow F6$

d) Si Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor VI es Bajo e índice de Friction es Medio, entonces Trastorno Crónico Articular de Desarreglo Cóndilo-Disco (Cierre) es Poco Probable.

Esquema lógico: $v \wedge w \rightarrow \sim F6$

Esquema lógico del factor 7:

$$[(p \wedge q) \vee r \vee s] \wedge t \rightarrow F7 \equiv (p \wedge q \wedge t) \vee (r \wedge t) \vee (s \wedge t) \rightarrow F7$$

Reglas referidas al factor 7:

a) Si índice de Disfunción es Medio y índice de Palpación es Bajo e índice de Friction es Medio, entonces Trastorno Crónico con Sintomatología Muscular Cervical es Probable.

Esquema lógico: $r \wedge t \rightarrow F7$

b) Si Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor VII es Alto e Índice de Friction es Medio, entonces Trastorno Crónico con Sintomatología Muscular cervical es Probable.

Esquema lógico: $s \wedge t \rightarrow F7$

c) Si Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor VII es Bajo e índice de Friction es Bajo, entonces Trastorno Crónico con Sintomatología Muscular Cervical es Poco Probable.

Esquema lógico: $u \wedge v \rightarrow \sim F7$

Esquema lógico del factor 8:

$$[(p \wedge q) \vee r \vee s] \wedge t \rightarrow F7 \equiv (p \wedge q \wedge t) \vee (r \wedge t) \vee (s \wedge t) \rightarrow F7$$

Reglas referidas al factor 8:

a) Si índice de Disfunción es Medio y índice de Palpación es medio, entonces Alteración Crónica Oclusal en Movimientos Excéntricos (Lateralidad Lado de Trabajo) es Probable.

Esquema lógico: $p \wedge q \rightarrow F8$

b) Si índice de Examen Oclusal es Bajo o Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor VIII es Alto, entonces Alteración Crónica Oclusal en Movimientos Excéntricos (Lateralidad Lado de Trabajo) es Probable.

Esquema lógico: $r \vee s \rightarrow F8$

c) Si Patrón de incidencia Experto-Factorial sobre Factor VIII es Bajo e índice de Friction es Medio, entonces Alteración Crónica Oclusal en Movimientos Excéntricos (Lateralidad Lado de Trabajo) es Poco Probable.

Esquema lógico: $t \wedge u \rightarrow \sim F8$

Esquema lógico del factor 9:

$$(p \wedge q) \vee r \vee s \rightarrow F9$$

Reglas referidas al factor 9:

a) Si índice de Disfunción es Bajo y índice de Palpación es Medio, entonces Trastorno Crónico con Trastorno Muscular Masticatorio es Probable.

Esquema lógico: $p \wedge q \rightarrow F9$

b) Si Componente del Trastorno en Palpación Extraoral de los Músculos Mandibulares es Bajo o Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor IX es Alto, entonces Trastorno Crónico con Trastorno Muscular Masticatorio es Probable.

Esquema lógico: $r \vee s \rightarrow F9$

c) Si Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor IX es Bajo e índice de Friction es Medio, entonces Trastorno Crónico con Trastorno Muscular masticatorio es Poco Probable.

Esquema lógico: $t \wedge u \rightarrow \sim F9$

Esquema lógico del factor 10:

$$[(p \wedge q) \vee (r \wedge s \wedge t) \vee u] \wedge v \rightarrow F10$$

Reglas referidas al factor 10:

a) Si índice de Disfunción es Medio y índice de Palpación es Alto y índice de Friction es muy alto, entonces Trastorno Crónico Articular de Desarreglo Cóndilo-Disco (Apertura, Cierre, Lateralidad) es Probable.

Esquema lógica: $p \wedge q \wedge v \rightarrow F10$

b) Si Componente del Trastorno en Movimientos Mandibulares es Medio y Componente del Trastorno en Capsula Articular es Muy Alto y Componente del Trastorno en Ruido Articular es Alto y índice de Friction es Muy alto, entonces Trastorno Crónico Articular de Desarreglo Cóndilo-Disco (Apertura, Cierre, Lateralidad) es Probable.

Esquema lógica: $r \wedge s \wedge t \wedge v \rightarrow F10$

c) Si Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre factor X es Alto y índice de Friction es Muy alto, entonces Trastorno Crónico Articular de Desarreglo Cóndilo-Disco (Apertura, Cierre, Lateralidad) es Probable.

Esquema lógica: $u \wedge v \rightarrow F10$

d) Si Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor X es Bajo y índice de Friction es Alto, entonces Trastorno Crónico Articular de Desarreglo Cóndilo-Disco (Apertura, Cierre, Lateralidad) es Poco Probable.

Esquema lógica: $w \wedge x \rightarrow \sim F10$

Esquema lógica del factor 11:

$$[(p \wedge q \wedge v) \vee (r \wedge s \wedge t \wedge v) \vee (u \wedge v)] \rightarrow F11$$

Reglas referidas al factor 11:

a) Si índice de Disfunción es Alto y índice de Palpación es Bajo y índice de Friction es Alto, entonces Trastorno Crónico Degenerativo con Alteración de la Estabilidad Oclusal es Probable.

Esquema lógica: $p \wedge q \wedge v \rightarrow F11$

b) Si Componente del Trastorno en Capsula Articular es Alto y Componente del Trastorno en Ruido Articular es Alto y índice de Examen Oclusal es Alto y índice de Friction es Alto, entonces Trastorno Crónico Degenerativo con Alteración de la Estabilidad Oclusal es Probable.

Esquema lógica: $r \wedge s \wedge t \wedge v \rightarrow F11$

c) Si Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor XI es Alto y índice de Friction es Alto, entonces Trastorno Crónico Degenerativo con Alteración de la Estabilidad Oclusal es Probable.

Esquema lógica: $u \wedge v \rightarrow F11$

d) Si Patrón de Incidencia Experto-Factorial sobre Factor XI es Bajo y Índice de Friction es Medio, entonces Trastorno Crónico Degenerativo con Alteración de la Estabilidad Oclusal es Poco Probable.

Esquema lógica: $w \wedge x \rightarrow \sim F11$

2.3.4. PASO 5: PRUEBAS DE SIMULACIÓN

A continuación (Figura 2.3.42) se presenta un ejemplo de archivo de donde es extraída la información para ser utilizada por la Toolbox de MATLAB de Lógica Difusa.

	A
1	0.1
2	0.3
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0
20	0
21	0.6

Figura 2.3.42: Reporte de los resultados obtenidos por el sistema creado en Visual Basic para las pruebas de simulación.

Note que los veintidós valores son devueltos por el programa construido en Visual Basic, y corresponden a variables anteriormente detalladas. Una vez que se hace tiene este archivo se procede a ser llamado por MATLAB, vea código de la función Fricton desarrollada (Figura 2.3.43).

Como se observa, el programa llama a un archivo denominado Fricton v6 que contiene el código desarrollado en MATLAB en la Toolbox Fuzzy.

Del lado del computador el esquema general del sistema experto es presentado en la figura 2.3.44.

```

1  function fricton()
2  -   clear
3  -   clc
4  -   warning off MATLAB:xlswrite:AddSheet;
5  -   file=input('¿CON QUÉ NOMBRE DESEA GRABAR LOS RESULTADOS?: ','s');
6  -   hoja='RESULTADOS';
7  -   encabezado=[{'FACTOR 1'},{'FACTOR 2'},{'FACTOR 3'},{'FACTOR 4'},{'FACTOR 5'}]
8  -   nombres_de_los_factores=[{'Desorden inflamatorio articular con desorden func
9  -   [estado]=xlswrite(file,encabezado,hoja,          'A1');
10 -   [estado]=xlswrite(file,nombres_de_los_factores,hoja,'C1');
11 -   if estado==0
12 -       disp('La creación del archivo ha fallado.');
```

Figura 2.3.43: Código de la función Fricton implementada en MATLAB.

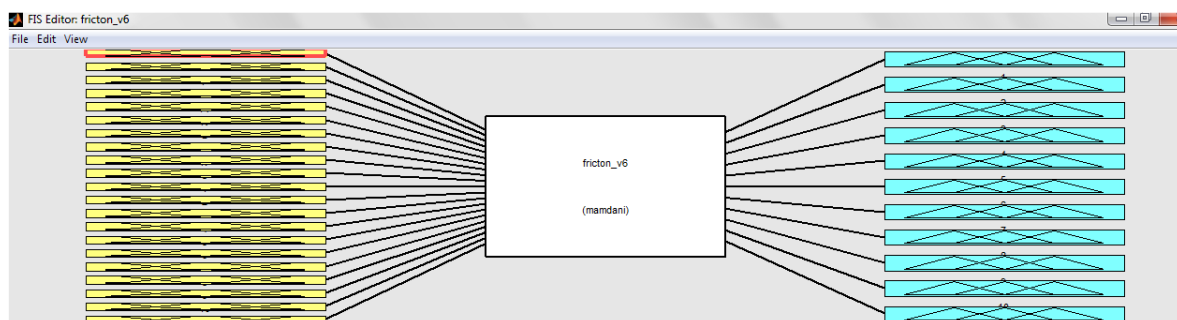


Figura 2.3.44: Código de la función Fricton implementada en MATLAB.

En este sistema experto se utilizan las características MANDANI y de integración mediante el método **Centroide**, como aparece en la figura 2.3.45.

FIS Name: fricton_v6		FIS Type: mandani	
And method	min	Current Variable	
Or method	max	Name	D
Implication	min	Type	input
Aggregation	max	Range	[0 1]
Defuzzification	centroid	Help Close	
System "fricton_v6": 21 inputs, 11 outputs, and 40 rules			

Figura 2.3.45: Características MANDANI y Centroide en el sistema experto difuso.

Además se presenta el esquema de reglas diseñado en la ToolBox Fuzzy de MATLAB de acuerdo a su esquema de formación antes mencionado con el total de cuarenta reglas (Figura 2.3.46)

Dicho sistema experto difuso implementado en MATLAB ofrece con un visor de reglas y resultados dinámico. Vea figura 2.3.47.

Del lado del usuario (odontólogo) aparece en MATLAB la siguiente interfaz, la cual debe de ser llenada como se muestra (Figura 2.3.48). Friction es el archivo fijo al trabajo desarrollado y es la función que se ha construido en MATLAB, por tanto siempre se debe de escribir dicha palabra.

Aparece un mensaje solicitando se le dé un nombre en particular al archivo que Excel y MATLAB van a generar (Figura 2.3.49).

Se le ingresa un nombre, el de su preferencia, respetando siempre los estándares de acuerdo al ingreso de información (Figura 2.3.50).

Una vez dado **Enter** se tiene que esperar unos segundos y esperar a que aparezca el mensaje "Archivo Creado", lo cual indica que se ha generado un archivo en Excel con los resultados (Figura 2.3.51).

Este archivo (Figura 2.3.52) puede ser manipulado pues aparece en la misma carpeta de creación del sistema experto y dichos resultados pasan nuevamente al sistema creado en visual.

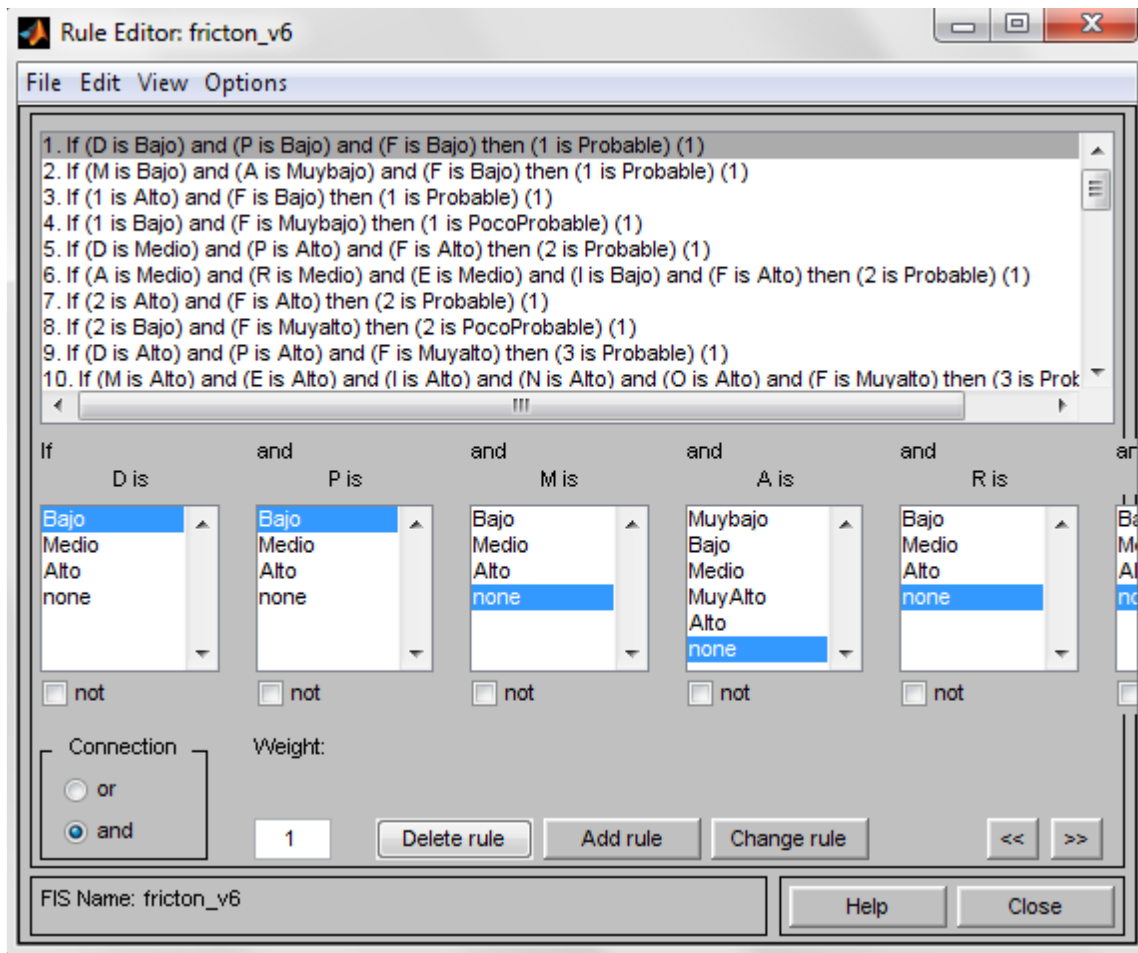
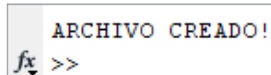
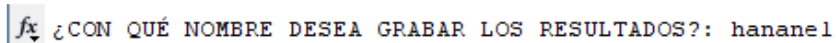
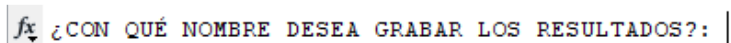
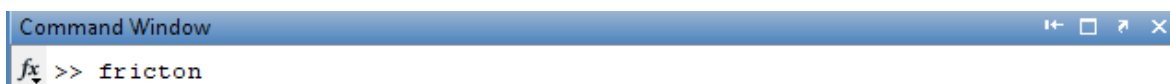
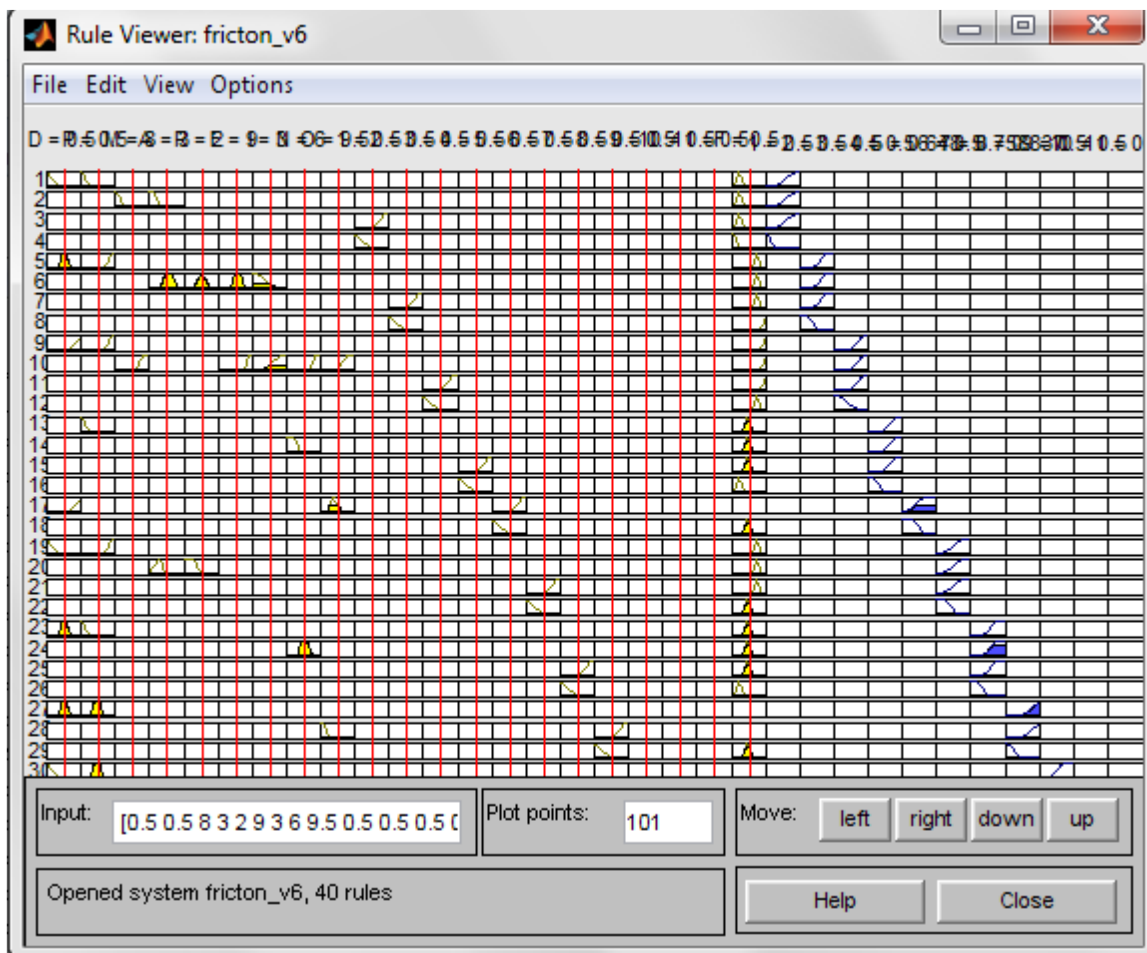


Figura 2.3.46: Implementación de las reglas lógicas del sistema experto difuso.

Dicho archivo contiene una data o diagnostico similar al que se muestra a continuación, con lo que se finaliza el proceso (Figura 2.3.53).



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	FACTOR 1	0.5	Desorden inflamatorio articular con desorden funcional mandibular								
2	FACTOR 2	0.5	Desorden crónico degenerativo articular con desorden muscular mandibular por probable parafunción								
3	FACTOR 3	0.5	Desorden degenerativo crónico con desorden muscular y funcional mandibular, con alteración de la estabilidad oclusal								
4	FACTOR 4	0.5	Desorden crónico de los músculos de la nuca								
5	FACTOR 5	0.5	Desorden crónico oclusal en movimientos excéntricos (Lateralidad Lado de no Trabajo y Protusiva)								
6	FACTOR 6	0.5	Desorden crónico articular de desarreglo cóndilo-disco (cierre)								
7	FACTOR 7	0.5	Desorden crónico con sintomatología muscular cervical								
8	FACTOR 8	0.83666667	Alteración crónica oclusal en movimientos excéntricos (Lateralidad Lado de Trabajo)								
9	FACTOR 9	0.74307439	Desorden crónico con desorden muscular masticatorio								
10	FACTOR 10	0.5	Desorden crónico articular de desarreglo cóndilo-disco (apertura, cierre, lateralidad)								
11	FACTOR 11	0.5	Desorden crónico degenerativo con alteración de la estabilidad oclusal								

Figura 2.3.53: Resultados de la prueba realizada por el sistema experto difuso para un paciente dado.

3. EL MODELO DE TTM

3.1. PLANTEAMIENTO

Sea $\Omega \subset \mathbb{R}^3$ el dominio ocupado por un cuerpo que posee condiciones para alcanzar el movimiento, y se considera como cuerpo a una mandíbula para actuar como tal, mediante $\Gamma = \partial\Omega$ se denota su frontera, la cual por la naturaleza de la misma, será su superficie exterior. El sólido engendrado por la mandíbula junto con su superficie exterior viene dado por Ω .

Considere que la mandíbula posee propiedades físicas de elasticidad, homogeneidad e isotropía como propiedades constitutivas del hueso ante deformación. Se define con el término deformación, en lo que sigue, a la deformación elástica, ya que se asume que la mandíbula como caso concreto de cuerpo, recupera su forma original al retirar la fuerza Oclusal que le provoca deformación.

De acuerdo a lo explicado anteriormente, el interés físico en la deformación de la mandíbula tiene sentido, ya que debido a las características de la ATM y a la rigidez del hueso temporal, es posible utilizar una condición de contacto unilateral sin rozamiento en la parte superior del cóndilo izquierdo, significando el posible contacto pero no la penetración ya que fisiológicamente el desplazamiento está restringido por la fosa glenoidea y de este modo los desplazamientos en las direcciones tangenciales se producen libremente (sin tensiones de rozamiento), motivo necesario para imponer condiciones de frontera distintas. Dada Γ la frontera de la mandíbula, se debe realizar una partición de la misma tomando en cuenta:

- La zona superficial donde el contacto se puede producir, a la cual se le denota con Γ_c .
- La parte de la frontera de Ω en la que se supone que no hay desplazamiento, denotada por Γ_D ($\mathbf{u} = \mathbf{0}$ en Γ_D).
- Las partes de la superficie donde actúan los diferentes músculos, cuya unión arbitraria es denotada por Γ_F .

Que corresponden a condiciones de Signorini, Dirichlet y Neumann, respectivamente.

Con respecto a Γ_c , no se puede tratar de forma única sin particionamiento, ya que la condición de Signorini o de contacto, es decir, donde la mandíbula puede presionar o se puede separar del cuerpo rígido viene dado por dos partes bien diferenciadas: la parte superior del cóndilo izquierdo, Γ_c y la parte superior del molar Γ_m ; la primera explicada anteriormente por la restricción de la fosa, y la segunda correspondiente a la condición del molar con el objeto mordido que puede o no entrar en contacto con este.

Con respecto a Γ_D no merece partición alguna, dado que es conocido que durante la mordida, el cóndilo derecho siempre permanece en contacto con el maxilar. Luego, la partición de Γ viene dada por $\Gamma = (\Gamma_c \cup \Gamma_m) \cup \Gamma_D \cup \Gamma_F$.

De acuerdo a los preliminares teóricos para cada punto mandibular $\mathbf{x} \in \Omega = \Omega \cup \partial\Omega$, se considera el vector desplazamiento de este punto en oclusión $\mathbf{u}(\mathbf{x}) = (\mathbf{u}_i(\mathbf{x}))$, donde $\mathbf{u}_i(\mathbf{x})$ representa el desplazamiento de $\mathbf{x}$ en la dirección $\mathbf{OX}_i$, con $1 \leq i \leq 3$.

En el modelo, se asume que el peso de la mandíbula, no ejerce influencia en la deformación, por lo que se considerará únicamente a $\mathbf{g} = (\mathbf{g}_i)$, $1 \leq i \leq 3$, donde cada $\mathbf{g}_i$ es una de las componentes del vector tracción impuesto en el punto, esto es, la densidad de las fuerzas ejercidas por los músculos de la oclusión en Γ_F (fuerzas de la superficie).

Si se considerase la fuerza del peso se debe sumar a la de los músculos.

En este caso se considera que la deformación producida en la mandíbula por efecto de su propio peso es despreciable frente a las deformaciones provocadas por las fuerzas de oclusión.

Considere el modelo de Lamé-Hook para el tensor de tensiones extendido a lo largo de la mandíbula con módulo de Young de igual valor en tracción que en compresión. Esto es posible dado que se ha de suponer que el hueso es elástico, homogéneo e isótropo.

Si se considera además que la oclusión es un proceso en donde no hay variaciones importantes de las fuerzas en el intervalo de tiempo considerado, con el objetivo de obtener un estado de equilibrio, el proceso se torna estacionario, y además se debe de considerar que la mordida se produce muy lentamente, y por tanto, que no existe efectos de inercia relacionados con la aceleración.

Estas propiedades definen un **problema cuasi estático** (lento en relación con la velocidad de las partículas que conforman el sistema y con cierto grado de uniformidad

instantánea) el cual viene dado por $-\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = f_i$, donde f_i representa las componentes de las fuerzas de volumen (fuerzas del cuerpo).

Si se considera que existen efectos de inercia asociados a la aceleración, f_i debería, de acuerdo a la segunda ley de Newton, ser escrito como $f_i = -\rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2}$, $1 \leq i \leq 3$, donde ρ representa la masa de la mandíbula y su formulación se denominaría **problema dinámico**.

Imponiendo sobre el conjunto Γ_F las condiciones de frontera, el balance de tracción se llega a completar, mediante las ecuaciones

$$\sigma_{ij} \cdot n_j = g_i, \quad 1 \leq i \leq 3,$$

Donde n_j define el vector normal exterior en un punto genérico.

Las condiciones sobre Γ_C son las referidas a que la tensión normal sea no positiva y la tensión cortante sea nula.

Además dado que la fuerza de rozamiento es despreciable, esta condición puede ser expresada mediante las ecuaciones $\sigma_{ti} = \sigma_{ij}n_j - \sigma_{ni} = 0$, $1 \leq i \leq 3$, en donde σ_{ti} representa a la tensión tangencial que es nula.

De lo explicado anteriormente y utilizando la notación de Einstein o convenio de la suma de índices repetidos, se tiene el problema:

Encontrar u tal que:

$$-\frac{\sigma_{ij}(u)}{\partial x_j} = f_i \quad \text{En } \Omega, \quad 1 \leq i \leq 3, \quad (3.1)$$

$$\begin{cases} u_n = u_i n_i \leq 0, & \sigma_n = \sigma_{ij} n_i n_j \leq 0, & u_n \sigma_n = 0 \\ \sigma_{\tau i} = \sigma_{ij} n_j - \sigma_n n_i = 0, & 1 \leq i \leq 3, \end{cases} \quad \mathbf{u} = \mathbf{0} \text{ en } \Gamma_D, \quad (3.2)$$

$$\sigma_{ij}(\mathbf{u})n_j = \mathbf{g}_i \text{ en } \Gamma_F, \quad 1 \leq i \leq 3, \quad (3.3)$$

$$\text{En } \Gamma_C. \quad (3.4)$$

Considere ahora que los desplazamientos y tensiones dependen del tiempo t y que existen efectos de inercia asociados a la aceleración. Asimismo que el vector normal exterior a un punto de la superficie es constante con respecto al tiempo y varía únicamente de acuerdo a su posición y asumiendo que al inicio del proceso de oclusión, el tronco mandibular se considera el de un individuo sano, en donde no existe ni velocidad ni desplazamiento, el problema (3.1)-(3.4) para un intervalo de tiempo muy corto $[0, T]$, $T > 0$ viene dado por:

Encontrar $\mathbf{u}: \Omega \times [0, T] \rightarrow \mathbb{R}^3$, con $\mathbf{u}(x, t) = (u_i(x, t))$, $1 \leq i \leq 3$, tal que:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j}(\mathbf{u}(x, t)) = \rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2}(x, t) \text{ en } \Omega \times [0, T], \quad 1 \leq i \leq 3, \quad (3.5)$$

$$\mathbf{u}(x, t) = \mathbf{0}, \quad \text{en } \Gamma_D \times [0, T],$$

$$\sigma_{ij}(\mathbf{u}(x, t))n_j(x) = \mathbf{g}_i(x, t), \quad \text{en } \Gamma_F \times [0, T], \quad 1 \leq i \leq 3,$$

$$\begin{cases} u_n(x, t) \leq 0, \sigma_n(x, t) \leq 0, u_n(x, t)\sigma_n(x, t) = 0 & \text{en } \Gamma_C \times [0, T], \\ \sigma_{\tau i}(x, t) = 0, & \text{en } \Gamma_C \times [0, T], \\ \mathbf{u}(x, 0) = \mathbf{0}, \quad \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t}(x, 0) = \mathbf{0}, & \text{en } \Omega. \end{cases} \quad (3.6)$$

Como se ha mencionado, la componente difusa de este trabajo se centra únicamente en la aplicación de las fuerzas en las diferentes zonas, que ocasionan los once trastornos Temporomandibulares ya estudiados, que se ven representadas por la ecuación diferencial:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j}(\mathbf{u}(x, t)) = -f_i = \rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2}(x, t) \quad \text{En } \Omega \times [0, T], \quad 1 \leq i \leq 3 \quad (3.7)$$

Y la condición de frontera

$$\sigma_{ij}(\mathbf{u}(x, t))n_j(x) = \mathbf{g}_i(x, t), \quad \text{en } \Gamma_F \times [0, T], \quad 1 \leq i \leq 3, \quad (3.8)$$

Y de la cual se hace el análisis respectivo.

Un concepto que conecta la teoría difusa y los sistemas de evolución es el de ecuaciones diferenciales difusas (EDF), el cual se basa principalmente en la Fuzzyficación de la relación funcional que define la ecuación diferencial. Un problema de valor inicial difuso asociado a una ecuación diferencial de primer orden se puede definir como

$$\mathbf{x}^0(t) = \mathbf{f}(t, \mathbf{x}(t)), \mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0, \quad (3.9)$$

Donde $\mathbf{x}_0 \in \mathbf{X}$, $t_0 \in [0, T]$, T un número real, $\mathbf{X}$ es una clase de conjuntos difusos y $\mathbf{f}: [0, T] \times \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{X}$ es una multifunción difusa, esto es, una función que asigna a cada punto del dominio, un conjunto difuso. Una solución del problema (3.9) es una multifunción difusa $\mathbf{x}: I \subset [0, T] \rightarrow \mathbf{X}$ derivable en algún sentido de la derivada difusa y que verifica (3.9).

Al sustituir la relación funcional **f** de (3.10) por una multifunción adecuada de acuerdo a (Chalco Y. et al, 2007), dicha ecuación diferencial se convierte en una inclusión diferencial asociada a un problema de frontera.

En este trabajo se generaliza el problema de valor inicial difuso de primer orden **x0(t) = f(t,x(t))** utilizando una notación equivalente a **x0(t) = f(x(t),t)** por simplicidad en el manejo y estructura de una ecuación diferencial parcial de segundo orden de la forma

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j}(u(x, t)) = -f_i = \rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2}(x, t) \quad \text{en } \Omega \times [0, T], \quad 1 \leq i \leq 3 \quad (3.10)$$

Donde:

$$\sigma_{ij}(u(x, t)) n_j(x) = g_i(x, t), \quad \text{en } \Gamma F \times [0, T], \quad 1 \leq i \leq 3, \quad (3.11)$$

Siendo la función **g_i** definida para cada **i = 1,...,3** mediante **g** según se observa.

Dicha función resulta ser una multifunción difusa, derivable y que verifica (3.10) por lo que análogamente a lo trabajado en (González W., 2012), se puede demostrar que la inclusión diferencial difusa asociada con el problema de valor de frontera planteado tiene como solución un conjunto difuso y por tanto los resultados son válidos.

3.2. SIMULACIÓN BIOMECÁNICA

El nivel de diseño del modelo mandibular fue realizado mediante la adquisición de tomografías y su posterior reconstrucción mediante curvas y superficies variacionales Spline, estudio realizado en MATLAB e implementado en SolidWorks.

El modelo CAD de mandíbula realizado en SolidWorks tuvo en cuenta partes diferenciadas realizadas mediante B-Splines tomando en cuenta los once factores obtenidos por el Análisis Factorial en el capítulo 1 y de los que se hace mención en la Tabla 3.2.1 y se puede observar en la Figura 3.2.1.

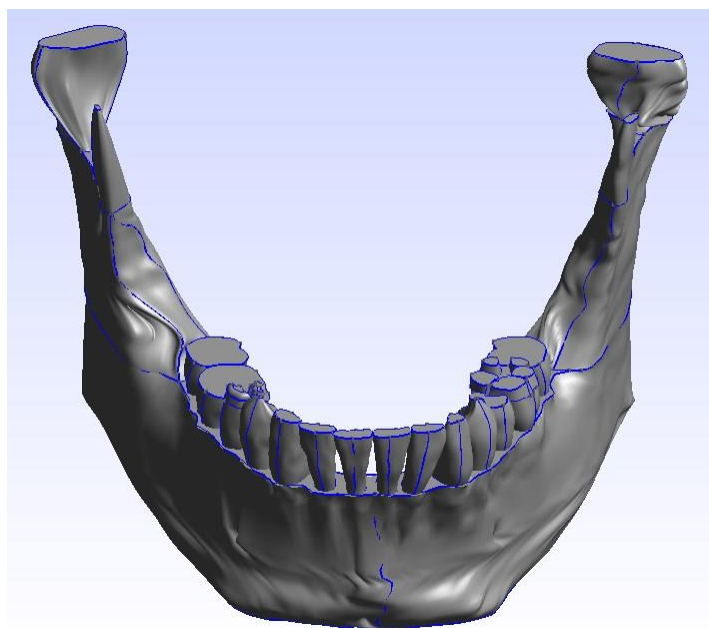


Figura 3.2.1: Objetos Temporomandibulares tridimensionales de la Tabla 3.2.1 delimitados por curvas Spline de los recubrimientos respectivos.

Para la simulación numérica, se consideró un individuo arbitrario, el cual después de pasado el análisis clínico utilizando el sistema H y observando los resultados en el formulario correspondiente al índice de Friction, resulta encontrarse enfermo de algún trastorno Temporomandibular. Dicho individuo es considerado un sujeto de prueba y se procede a analizar las características de su trastorno Temporomandibular utilizando los registros obtenidos, de su examinación previa, por el sistema H en su base de datos asociada.

NR	Objeto 3D Temporomandibular	Lateralidad	Posición	Factores afectados
2	Cuerpo de la mandíbula			F_3, F_{11}
3	Rama de la mandíbula	Izquierda		F_2
4	Cóndilo	Izquierdo		$F_1, F_2, F_3, F_4, F_6, F_7, F_{10}$
5	Apófisis coronoides	Izquierda		F_9
6	Rama de la mandíbula	Derecha		F_2

8	Cóndilo	Derecho		$F_1, F_2, F_3, F_4, F_6, F_7, F_{10}$
10	Apófisis coronoides	Derecha		F_9
11	Incisivo central	Derecho	Inferior	F_5, F_9
12	Incisivo central	Izquierdo	Inferior	F_5, F_9
13	Incisivo lateral	Izquierdo	Inferior	F_5, F_9
15	Incisivo lateral	Derecho	Inferior	F_5, F_9
16	Canino	Derecho	Inferior	F_2, F_9
17	Canino	Izquierdo	Inferior	F_2, F_9
22	Primera premolar	Derecha	Inferior	F_9
24	Primera premolar	Izquierda	Inferior	F_9
25	Segunda premolar	Izquierda	Inferior	F_9
27	Segunda premolar	Derecha	Inferior	F_9
29	Primera molar	Izquierda	Inferior	F_9
30	Cúspide mesio lingual (*)	Izquierda	Inferior	F_9
33	Cúspide vestibular (*)	Izquierda	Inferior	F_9
34	Cúspide mesio vestibular (*)	Izquierda	Inferior	F_9
35	Cúspide disto vestibular (*)	Izquierda	Inferior	F_9
36	Cúspide disto lingual (*)	Izquierda	Inferior	F_9
37	Primera molar	Derecha	Inferior	F_9
38	Segunda molar	Izquierda	Inferior	F_8, F_9
40	Segunda molar	Derecha	Inferior	F_8, F_9

Tabla 3.2.1: Detalle de los recubrimientos utilizados en la construcción de la mandíbula y su relación con los factores del trastorno Temporomandibular, donde NR hace alusión a la cardinalidad de los mismos en el programa CAD utilizado (*: Objeto 3D de la primera molar).

El sistema H procesa la información de registro y mediante Lógica Difusa determino la membresía a cada uno de los once factores multivalentes del Análisis Factorial aplicado a la base de datos de la muestra y que tienen una interpretación odontológica detallada en la sección 1.2.7 de este informe. La formulación matemática del modelo en derivadas parciales contemplo un análisis de tensiones y desplazamientos correspondientes a dichos factores.

Para la modelización biomecánica de la mandíbula y de sus músculos involucrados se hizo uso del prototipo CAD construido, se implementaron sus propiedades físicas, las fuerzas con sus componentes difusas sobre músculos y huesos en MATLAB. Para el estudio por elementos finitos se eligió el software **FreeFem++** por presentar las condiciones necesarias para la inserción de su formulación variacional para la cual se realizó una conexión entre ambos softwares.

El modelo original desarrollado contempla 102821 vértices, 2352 aristas, 554752 tetraedros y 40368 triángulos, sin embargo cabe destacar que para la simulación numérica de este trabajo y su comparación con los métodos sin malla solo 2095 vértices, 588 aristas, 8668 tetraedros y 2523 triángulos fueron utilizados.

Algunas hipótesis sobre la anatomía de la mandíbula se deben hacer para simplificar el estudio biomecánico. Pese a la naturaleza anisotropía de los materiales que constituyen los

dientes y la mandíbula, estos pueden ser asumidos sin pérdida de generalidad como homogéneos e isotrópicos. Además, todos los materiales pueden ser considerados elásticos. Las propiedades biomecánicas del hueso poroso y cortical (Neill C. M., 1997), y las propiedades elásticas del disco articular de la mandíbula, se muestran en la Tabla 3.2.2.

Material	Módulo de Young (Mpa)	Radio de Poisson
Hueso cortical	1.37×10^4	0.30
Hueso poroso	7.93×10^3	0.30
Disco articular	4.41×10	0.4

Tabla 3.2.2: Propiedades mecánicas de varios componentes de la ATM.

Basados en el **Principio de San Venant** (equivalencia estática implica asintóticamente equivalencia elástica), tanto el módulo de elasticidad y el radio de Poisson de la mandíbula y dientes, pueden ser definidos considerando el valor promedio de los del hueso cortical y del poroso, que de acuerdo a la tabla vienen dados por $1.1 \times 10^4 \text{MPa}$ y 0.30, respectivamente, valores que son utilizados como referencia para la resolución numérica.

En el caso del estudio de los trastornos Temporomandibulares de este trabajo se realizó la simulación con respecto a solo uno de estos tipos de mordida, el de contacto unimolar (RMOL), con la cual se realizó la validación, sin embargo el código implementado en MATLAB ha sido diseñado para cada uno de estos 5 tipos de mordida. Estas condiciones fueron elegidas para simular las condiciones de mordida y para predecir la interacción de fuerzas en el sistema masticatorio. Para este propósito, se realizó una modelización donde fueron requeridas condiciones de contorno. La estructura de la articulación Temporomandibular fue modelizada combinando propiedades de hueso cortical para la superficie temporal y de fibrocartílago para el disco articular. Esto permitió analizar la distribución de tensiones sobre los cóndilos no restringidos mientras se representaba el efecto de amortiguamiento del disco articular contra el hueso temporal rígido. Los contactos interdentes fueron modelizados mediante la inserción de algunos nodos adecuados entre cada par de dientes. Para reflejar la transmisión de fuerza entre estos contactos, los espacios interdentes también fueron programados con transmisión de fuerza nula o no, pero únicamente a lo largo de las líneas de conexión entre los dientes.

Los 5 tipos de mordida elegidos para la modelización fueron los de posición intercuspidal (ICP), función de grupo izquierdo (LGF), función de grupo izquierdo con contacto de equilibrio en la segunda molar (LGF+B), contacto incisal (INC), y contacto molar unilateral derecho (RMOL). En el tipo ICP, los dientes que fueron restringidos de movimiento (sujeción vertical) fueron todos los dientes comenzando en los caninos y terminando en las terceras molares bilateralmente (excluyendo la tercera molar derecha en el caso que no haya erupcionado completamente), en LGF fueron de los caninos izquierdos a las últimas molares, y en LGF+B, de los caninos a las terceras molares en el lado izquierdo más la segunda molar en el lado derecho (equilibrio). Además, durante INC y RMOL, a los 4 incisivos y a la primera molar derecha no se les permitió desplazarse verticalmente, respectivamente.

El modelo fue cargado con múltiples vectores de fuerza para simular fuerzas musculares sobre las áreas fijadas. Grupos de vectores paralelos simulaban músculos masticatorios los cuales fueron modelizados como unidos directamente al hueso (Figura 3.2.2). Aunque el masetero y el pterigoideo medial no fueron representados como uno solo, su independencia

aparente podría ser irreal, desde las fijaciones inferiores de ambos músculos que caen en los mismos elementos estructurales y los afectados con tensión de tracción simultánea.

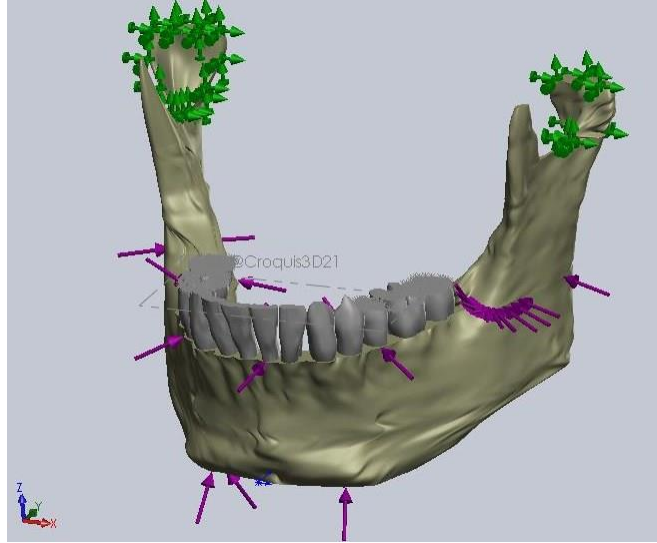


Figura 3.2.2: Vista lateral frontal izquierda mostrando condiciones de frontera impuestas en el modelo.

Las direcciones de los componentes ortogonales musculares fueron derivadas algebraicamente como vectores unitarios (cosenos directores) de vectores de fijación muscular. Las coordenadas tridimensionales de los lugares de uniones musculares maxilares y mandibulares se derivaron, el cual estuvo basado en medidas llevadas a cabo en 5 cráneos humanos. Cada musculo estuvo representado por sus extremos de coordenadas $(x1,y1,z1)$ y $(x2,y2,z2)$, cuya distancia intermuscular d fue obtenida de la forma habitual

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Donde la orientación de cada musculo fue definida de la forma de cosenos directores (ver Tabla 3.2.9):

$$\cos \alpha = \frac{x_2 - x_1}{d}, \cos \beta = \frac{y_2 - y_1}{d}, \cos \delta = \frac{z_2 - z_1}{d}.$$

La magnitud resultante de la fuerza muscular (M_{ir}) para cada musculo durante la contracción isométrica (genera tensión pero no se produce modificación en su longitud) fue dada por el producto:

$$[X_{M_i} \cdot K] \cdot EMG_{M_i} = M_{ir},$$

Donde X_{M_i} es el área de la sección transversal del musculo M_i en cm^2 , K es una constante para el musculo esquelético (expresada en N/cm^2), y EMG_{M_i} es el radio o valor a escala de la contracción muscular relativa a su respuesta máxima para cualquier tarea. El producto $[X_{M_i} \cdot K]$ es llamado el factor de peso dado el musculo M_i , y el valor EMG_{M_i} es considerado su factor de escala. Al multiplicar el factor de peso de un musculo concreto por su factor de

escala se obtuvo $\mathbf{M}_{ir}$. El producto de $\mathbf{M}_{ir}$ y su correspondiente vector unitario produjo las componentes de fuerza del vector ortogonal. Estos fueron proporcionados posteriormente entre los nodos que abarcaron el área correspondiente de unión muscular (vea Tabla 3.2.4). En el caso de los nodos que forman parte de dos músculos, las componentes de sus fuerzas respectivas fueron combinadas vectorialmente. Las componentes del modelo de fuerzas ejercidas durante la oclusión pueden ser vistas en la Figura 3.2.3.

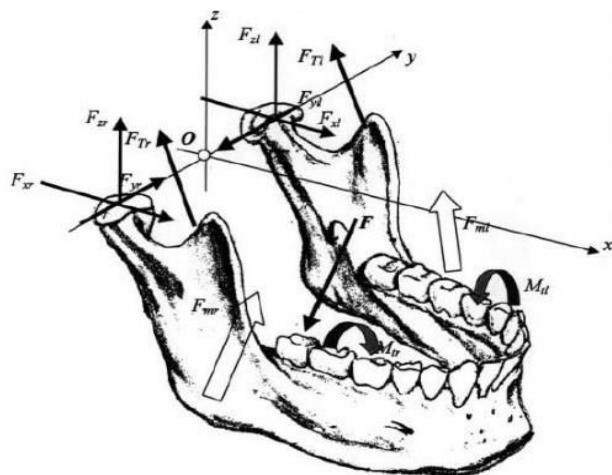


Figura 3.2.3: Vista lateral frontal de la mecánica de fuerzas producidas en oclusión.

Para cada tarea Oclusal, el modelo fue restringido en movimiento en los tercios colosales laterales y centrales de la primera molar inferior derecha. Estas restricciones actuaron solo perpendicular al plano Oclusal (dirección Y) en las cúspides de soporte inferior, permitiendo por tanto libertad de desplazamiento en el plano horizontal. Las restricciones tridimensionales fueron ubicadas bilateralmente en las superficies corticales endóseas de los huesos temporales. Estas restricciones imitaron mordidas estáticas con fijación del aparato mandibular en el cráneo. Por este motivo y de acuerdo a lo explicado, cinco mordidas del aparato mandibular fueron simuladas con ambos cóndilos centrados en su fosa glenoidea.

	Lado Derecho			Lado Izquierdo		
	cos al	cos be	cos de	cos al	cos be	cos de
Masetero superior	-0.207	0.884	0.419	0.207	0.884	0.419
Masetero profundo	-0.546	0.758	-0.358	0.546	0.758	-0.358
Pterigoideo medial	0.486	0.791	0.373	-0.486	0.791	0.373
Temporal anterior	-0.149	0.988	0.044	0.149	0.988	0.044
Temporal medio	-0.222	0.837	-0.500	0.222	0.837	-0.500
Temporal posterior	-0.208	0.474	-0.855	0.208	0.474	-0.855
Pterigoideo inferior	0.630	-0.174	0.757	-0.630	-0.174	0.757
Pterigoideo superior	0.761	0.074	0.645	-0.761	0.074	0.645
Digástrico anterior	-0.244	-0.237	-0.940	0.244	-0.237	-0.940

Tabla 3.2.3: Direcciones de las componentes ortogonales musculares derivadas como vectores unitarios (cosenos directores) de vectores de fijación muscular.

	Factor de peso [Newton]	Factor de escala									
		ICP		LGF		LGF+B		ICN		RMOL	
		Der	Izq	Der	Izq	Der	Izq	Der	Izq	Der	Izq
Masetero superior	190.4	1.00	1.00	0.27	0.18	0.26	0.12	0.40	0.40	0.72	0.60
Masetero inferior	81.6	1.00	1.00	0.26	0.36	0.26	0.36	0.26	0.26	0.72	0.60
Pterigoideo medial	174.8	0.76	0.76	0.76	0.07	0.73	0.09	0.78	0.78	0.84	0.60
Temporal anterior	158.0	0.98	0.98	0.07	0.66	0.23	0.54	0.08	0.08	0.73	0.58
Temporal medio	95.6	0.96	0.96	0.06	0.64	0.12	0.57	0.06	0.06	0.66	0.67
Temporal posterior	75.6	0.94	0.94	0.06	0.62	0.08	0.59	0.04	0.04	0.59	0.39
Pterigoideo inferior	66.9	0.27	0.27	0.14	0.59			0.71	0.71	0.30	0.65
Pterigoideo superior	28.7	0.59	0.59	0.08	0.20			0.50	0.50		
Digástrico anterior	40.0	0.28	0.28	0.38	0.51			0.50	0.50		

Tabla 3.2.4: Factores de escala y de peso asignados a los músculos masticatorios para 5 tareas de mordida.

En las tablas 3.2.5, 3.2.6, 3.2.7, 3.2.8, 3.2.9 el número de nodos refleja la cantidad de vectores aplicados en cada musculo correspondiente de la mandíbula. Las coordenadas **x**, **y** y **z** representan a las cargas musculares (en Newton) y sus direcciones tridimensionales.

Todas las coordenadas son referenciadas a un sistema de coordenadas cartesianas globales donde el plano **xy** es el plano frontal, **xz** representa al plano horizontal (mandibular), y donde **yz** indica el plano lateral.

	NODOS		ICP					
	Der	Izq	Derecha			Izquierda		
			X	Y	Z	X	Y	Z
Masetero superior	59	59	-0.668	2.853	1.351	0.668	2.853	1.351
Masetero profundo	38	38	-1.172	1.627	-0.768	1.172	1.627	-0.768
Pterigoideo medial	44	43	1.466	2.388	1.125	-1.500	2.443	1.151
Temporal anterior	43	40	-0.538	3.557	0.159	0.578	3.824	0.171
Temporal medio	18	18	-1.131	4.269	-2.549	1.131	4.269	-2.549
Temporal posterior	15	15	-0.987	2.247	-4.052	0.987	2.247	-4.052
Pterigoideo inferior	5	5	2.276	-0.629	2.734	-2.276	-0.629	2.734
Pterigoideo superior	4	4	3.221	0.312	2.730	-3.221	0.312	2.730
Digástrico anterior	8	8	-0.516	-0.502	-1.990	0.516	-0.502	-1.990
Borde inferior	15	15	1.674	18.228	8.615	-1.674	18.228	8.615

Tabla 3.2.5: Número y magnitudes de cargas musculares utilizadas en el modelo de mordida por elementos finitos del tipo ICP.

	NODOS		LGF					
	Der	Izq	Derecha			Izquierda		
			X	Y	Z	X	Y	Z
Masetero superior	59	59	-0.180	0.770	0.365	0.120	0.514	0.243
Masetero profundo	38	38	-0.305	0.423	-0.200	0.422	0.586	-0.276
Pterigoideo medial	44	43	1.466	2.388	1.125	-0.138	0.225	0.106
Temporal anterior	43	40	-0.038	0.254	0.011	0.389	2.575	0.115
Temporal medio	18	18	-0.071	0.267	-0.159	0.754	2.846	-1.699
Temporal posterior	15	15	-0.063	0.143	-0.259	0.651	1.482	-2.673
Pterigoideo inferior	5	5	1.180	-0.326	1.418	-4.973	-1.375	5.975
Pterigoideo superior	4	4	0.437	0.042	0.370	-1.092	0.106	0.925
Digástrico anterior	8	8	-0.463	-0.451	-1.787	0.622	-0.605	-2.398
Borde inferior	15	15	3.591	10.035	4.734	0.077	2.665	1.261

Tabla 3.2.6: Número y magnitudes de cargas musculares utilizadas en el modelo de mordida por elementos finitos del tipo LGF.

	NODOS		LGF+B					
	Der	Izq	Derecha			Izquierda		
			X	Y	Z	X	Y	Z
Masetero superior	59	59	-0.174	0.742	0.351	0.080	0.342	0.162
Masetero profundo	38	38	-0.305	0.423	-0.200	0.422	0.586	-0.276
Pterigoideo medial	44	43	1.408	2.294	1.080	-0.178	0.289	0.136
Temporal anterior	43	40	-0.126	0.835	0.037	0.318	2.107	0.094
Temporal medio	18	18	-1.141	0.534	-0.319	0.671	2.535	-1.513
Temporal posterior	15	15	-0.084	0.191	-0.345	0.620	1.410	-2.544
Pterigoideo inferior	5	5						
Pterigoideo superior	4	4						
Digástrico anterior	8	8						
Borde inferior	15	15	3.448	9.646	4.551	-0.194	2.176	1.029

Tabla 3.2.7: Numero y magnitudes de cargas musculares utilizadas en el modelo de Mordida por elementos finitos del tipo LGF+B.

	NODOS		INC					
	Der	Izq	Derecha			Izquierda		
			X	Y	Z	X	Y	Z
Masetero superior	59	59	-0.267	1.141	0.541	0.267	1.141	0.541
Masetero profundo	38	38	-0.305	0.423	-0.200	0.305	0.423	-0.200
Pterigoideo medial	44	43	1.505	2.451	1.154	-1.540	2.508	1.181
Temporal anterior	43	40	-0.044	0.290	0.013	0.047	0.312	0.014
Temporal medio	18	18	-0.071	0.267	-0.159	0.071	0.267	-0.159
Temporal posterior	15	15	-0.042	0.096	-0.172	0.042	0.096	-0.172
Pterigoideo inferior	5	5	5.984	-1.655	7.190	-5.984	-1.655	7.190
Pterigoideo superior	4	4	2.729	0.264	2.313	-2.729	0.264	2.313
Digástrico anterior	8	8	-0.610	-0.593	-2.351	0.610	-0.593	-2.351
Borde inferior	15	15	3.363	11.678	5.512	-3.363	11.678	5.512

Tabla 3.2.8: Número y magnitudes de cargas musculares utilizadas en el modelo de Mordida por elementos finitos del tipo INC.

	NODOS		RMOL					
	Der	Izq	Derecha			Izquierda		
			X	Y	Z	X	Y	Z
Masetero superior	59	59	-0.481	2.054	0.973	0.401	1.712	0.811
Masetero profundo	38	38	-0.844	1.172	-0.553	0.703	0.976	-0.461
Pterigoideo medial	44	43	1.620	2.639	1.243	-1.184	1.929	0.909
Temporal anterior	43	40	-0.400	2.650	0.119	0.342	2.263	0.101
Temporal medio	18	18	-0.777	2.935	-1.752	0.789	2.979	-1.779
Temporal posterior	15	15	-0.620	1.410	-2.544	0.410	0.932	-1.681
Pterigoideo inferior	5	5	2.529	-0.699	3.038	-5.478	-1.515	6.582
Pterigoideo superior	4	4						
Digástrico anterior	8	8						
Borde inferior	15	15	2.862	15.823	7.473	-1.819	12.264	5.794

Tabla 3.2.9: Número y magnitudes de cargas musculares utilizadas en el modelo de mordida por elementos finitos del tipo RMOL.

Para el estudio de la evolución del trastorno Temporomandibular se hizo uso del método de diferencias finitas mediante un esquema implícito llevado a cabo en **FreeFem++**, siendo nuevamente MATLAB el software elegido para la realización de los métodos sin malla y su comparación con el método de los elementos finitos.

De acuerdo al dominio considerado y a sus condiciones de frontera, son los cóndilos bilaterales, las segundas molares, la zona superficial de contacto, y los lados de no trabajo los lugares donde se debe prestar interés en el análisis, restando importancia a la articulación Temporomandibular y a las características de fluido propias del ligamento periodontal, no considerados en esta memoria.

Por lo que el movimiento de oclusión realizado por el paciente con TTM refleja finalmente la membresía μ a los once factores involucrados, en este caso en particular, se obtienen membresías no nulas relativas a los factores F3, F4, F5, F7, F8, F9 para la generación de las fuerzas f_i , g_j necesitadas para la implementación del modelo dinámico.

Para simular el impacto, se va a suponer una densidad de fuerza exponencialmente creciente durante el intervalo $[0, T]$ la cual viene dada por

$$g(x, t) = \begin{cases} \mu_j e^{2 \left(\sum_{i=1, i \neq j}^{11} \mu_i \right) (t-t_0)} g_0, & \text{si } 0 \leq t \leq t_0 \\ 0, & \text{si } t > t_0 \end{cases} \quad (3.12)$$

una función de soporte compacto donde $g_0 \in \mathbb{R}^3$ es la máxima intensidad del impacto en el instante $t_0 > 0$ y donde $j \in \{j : \mu_j = \max M\}$, siendo $M = \{\mu_i : 1 \leq i \leq 11\}$, donde μ_i es el grado de membresía asociado al factor de interés, y donde a cada x , posición del cuerpo mandibular, se le asigna un conjunto difuso X relativo a cada una de las zonas de la frontera de acuerdo al factor afectado (ver tabla 3.2.1).

En el análisis realizado se consideró, con $t_0 = 1s$ y para el cálculo, se eligió $T = 1s$ y $\Delta t = 0.01s$.

Para la validación de los resultados numéricos obtenidos se hizo uso de la investigación en donde se explica que las cargas de área Oclusal sobre la segunda molar inferior y en general sobre los tipos de dientes donde se puede establecer contacto, se pueden clasificar en tres tipos: carga de oclusión intercuspidal (ICP) (Wadhwa L. et al, 1993), carga distal y carga bucal, sin embargo, se puede estimar como patrón de carga 100 MPa de presión sobre la superficie seleccionada en dichas tres condiciones, que puede sin problemas ejercer la fuerza Oclusal normal a la superficie si se considera como referente al llamado punto Oclusal.

Algunas condiciones colosales como la diminuta erupción de la tercera molar superior o la mordida cruzada de la segunda molar, son preferibles estudiarlas clínicamente en vez de biomecánicamente, por lo que se deben desestimar estos elementos mandibulares en la formulación del modelo.

Se tiene como referencia de estos estudios realizados que el máximo valor de Von Mises en el cóndilo opuesto a la oclusión es de 51.513 Mpa cuando una carga del tipo ICP es aplicada. Pero cuando la carga distal o la carga bucal son aplicadas, el valor máximo de Von Mises en el cóndilo opuesto encontrado tiende a incrementar a 72.145 MPa o 69.566 Mpa, respectivamente según estas investigaciones.

Esto además coincide con los resultados de (Koriath T. et al, 1992), y con los desarrollados de manera aproximada en este trabajo.

4. CONCLUSIONES

El estudio de trastornos Temporomandibulares ha sido el punto de partida de la idea original de este trabajo, luego de introducir las propiedades físicas de la mandíbula en su versión constitutiva, el análisis de fuerzas en la articulación temporomandibular y el porqué de cada fuerza utilizada o construida en la simulación, se realizan las simulaciones numéricas con las mismas para reconstruir mediante los métodos variacionales con y sin malla el modelo matemático de la oclusión de un paciente con trastornos Temporomandibulares, llevando a cabo el análisis de deformaciones y desplazamientos para la contrastación de los resultados obtenidos con los resultados odontológicos esperados verificando que su similitud contrasta de este modo las hipótesis planteadas en la propuesta y dando soporte a este trabajo, se llega a la conclusión de que la réplica de las ideas, formulación, análisis y obtención de los resultados del modelo matemático planteado, así como de sus mejoras bajo supuestos más realistas pueden servir de protocolo para futuras investigaciones de enfermedades crónico degenerativas en el campo de la odontología y en general, de la medicina.

5. BIBLIOGRAFÍA

Wadhwa L. et al, (1993) **Study of clinical signs and symptoms of temporomandibular of function in subjects with normal occlusion, untread, and treated malocclusions**, 103(1), 54–61.

Neill C. M., (1997) **Management of temporomandibular disorders: Concepts and controversies**, J Prosthet Dent 77(5), 510–522.

Lundeen T. et al, (1986) **Discriminative ability of the tmj scale: Age and gender differences**, J Prosthet Dent 56(1), 84–92.

Friction J. y Schiffman E., (1987) **The CraneoMandibular index: Validity**, J Prosthet Dent 58(2), 222–228.

García E. et al, (2000), **Análisis factorial**, España: La Muralla SA.

Hananel A., (2011) **Sistema experto difuso para el pronóstico y diagnóstico de desórdenes Temporomandibulares utilizando análisis factorial y elementos finitos**, Revista MACI 3, 303–306.

Chalco Y. et al, (2007), **Sobre ecuaciones diferenciales difusas**, Boletín de la Sociedad Española de Matemática Aplicada 41(1), 91–99.

González W., (2012), **Una aproximación a los conjuntos alcanzables de una inclusión diferencial difusa**, Revista Integración 30(1), 57–74.

Korioth T. et al, (1992), **Three-dimensional finite element stress analysis of the dentate human mandible**, American Journal of Physical Anthropology 88, 69–96.