

SISTEMA PARA MEDICIÓN DE ESFUERZOS
MAXILOFACIALES EN EXÁMENES DE TERAPIA MIOFUNCIONAL

JULIETH CAROLINA ARBOLEDA GÓMEZ

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2017

SISTEMA PARA MEDICIÓN DE ESFUERZOS
MAXILOFACIALES EN EXÁMENES DE TERAPIA MIOFUNCIONAL

JULIETH CAROLINA ARBOLEDA GÓMEZ

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniera Electrónica
Universidad del Valle

Director:
CARLOS RAFAEL PINEDO JARAMILLO, M.Sc.

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2017

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	8
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
CAPITULO 1.....	14
1.1 INTRODUCCIÓN	14
1.2 MOTIVACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.3 MARCO REFERENCIAL	15
1.4 OBJETIVOS	17
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
CAPITULO 2: CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL SISTEMA BUCAL ____	18
2.1 INTRODUCCIÓN	18
2.2 SISTEMA BUCAL Y FUERZA DE MORDIDA	18
CAPITULO 3: SISTEMA DE SENSADO DE LA MEDIDA DE FUERZA DE MORDIDA DE UNA PERSONA.....	25
3.1 INTRODUCCIÓN	25
3.2 ANTECEDENTES.....	26
3.3 DISEÑO IMPLEMENTADO	30
3.3.1 MATERIAL UTILIZADO.....	30
3.3.2 DIMENSIONES Y ENSAMBLE	30
3.4 SIMULACIÓN EN COMSOL Multiphysics® Modeling Software.....	32
3.4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE SIMULACIÓN	35
3.5 TRANSDUCTOR DE DEFORMACIONES.....	36
CAPITULO 4: SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE SEÑAL	38
4.1 INTRODUCCIÓN	38
4.2 ANTECEDENTES.....	38
4.3 SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO Y PROCESAMINETO DE SEÑAL IMPLEMENTADO	39

4.4 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN, ACONDICIONAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE SEÑAL PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR DE ESFUERZOS MAXILOFACIALES _	41
CAPITULO 5: INTERFAZ GRÁFICA Y ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS OBTENIDOS DURANTE EL EXAMEN DE ESFUERZOS MAXILOFACIALES ...	
5.1 INTRODUCCIÓN _____	44
5.2 DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO _____	44
CAPITULO 6: CREACIÓN DE PROTOCOLO DE EVALUACIÓN PARA LA MEDIDA DE LA FUERZA MÁXIMA DE MORDIDA HACIENDO USO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ESFUERZOS MAXILOFACIALES	
6.1 INTRODUCCIÓN _____	53
6.2 PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA EL USO DEL GNATODINAMÓMETRO _____	53
• EQUIPO E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS. _____	53
• OBJETIVO	53
• ALCANCE.....	53
• PRINCIPIO DE MEDIDA EN EL QUE SE BASA EL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ESFUERZOS MAXILOFACIALES.	53
• CAMPO DE APLICACIÓN	54
• CONDICIONES PREVIAS A LA TOMA DEL EXAMEN.....	54
• PROCEDIMIENTO DE TOMA DEL EXAMEN.	54
• SECUENCIA DE MEDICIÓN	55
• ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DEBIDA AL COVERSOR ANÁLOGO DIGITAL DE LOS DISPOSITIVOS DE ACONDICIONAMIENTO Y PROCESAMIENTO	55
6.3. ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ESFUERZOS MAXILOFACIALES DEBIDA AL ADC DE LOS DISPOSITIVOS DE ACONDICIONAINETO Y PROCESAMIENTO DE SEÑAL	56
CAPÍTULO 7: RESULTADOS	59
7.1 VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ESFUERZOS MAXILOFACIALES _____	61
CAPÍTULO 8: TRABAJOS FUTUROS.....	70
8.1 ADECUACIÓN DE LA MEDICIÓN DE DEFORMACIONES Y ADICIÓN DE PIEZAS PARA LA MEDICIÓN DE LA FUERZA DE LOS MÚSCULOS MASETEROS Y DE LA LENGUA _____	70
CONCLUSIONES	72
BIBLIOGRAFÍA	73

ANEXOS	77
1. CERTIFICACIÓN DE LA VALIDÉZ FUNCIONAL DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ESFUERZOS MAXILOFACIALES EN EXÁMENES DE TERAPIA MIOFUNCIONAL	77
2. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ESFUERZOS MAXILOFACIALES EN EXÁMENES DE TERAPIA MIOFUNCIONAL	78
3. CASOS DE USO REAL DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ESFUERZOS MAXILOFACIALES EN EXÁMENES DE TERAPIA MIOFUNCIONAL.	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Músculos elevadores de mandíbula. [16]	19
Figura 2. Periodonto [26].	20
Figura 3. Tipo de dientes [36].	22
Figura 4. Fuerzas masticatorias máximas sin alimentos [38]	23
Figura 5. Gnatodinamómetro de Borelli [44].	26
Figura 6. Accesorios del Medical Oro Myo-Functional Therapy Myoscanner Device.	27
Figura 7. Sistema de medición del Medical Oro Myo-Functional Therapy Myoscanner Device	28
Figura 8. Gnatodinamómetro diseñado en la Universidad del Valle.	29
Figura 9. Strain indicator P-3500 Micromeasurements	29
Figura 10. Vista del lateral derecho de la celda de carga.	31
Figura 11. Vista posterior y superior de la celda de carga respectivamente.	32
Figura 12. Modelo 3D del gnatodinamómetro	32
Figura 13. Celda de carga construida en COMSOL.	33
Figura 14. Modelo 3D modificado del gnatodinamómetro	34
Figura 15. . Simulación de deformaciones de la viga inferior	34
Figura 16. Simulación de deformaciones de la viga superior	35
Figura 17. Medición de deformación para vigas en voladizo [48].	35
Figura 18. Cuarto de puente de Wheatstone	37
Figura 19. Celda de carga en conjunto con la galga extensiométrica	37
Figura 20. Módulo HX711	40
Figura 21. Diagrama de bloques de una típica aplicación para medir peso [50]. ...	40
Figura 22. Arduino Nano	41
Figura 23. Esquemático del sistema	41

Figura 24. Circuito impreso y montaje de los componentes	42
Figura 25. Prensa de pruebas y sus componentes [51]	42
Figura 26. Uso de la prensa en conjunto con la celda de carga.....	43
Figura 27. Relación fuerza aplicada vs fuerza medida.....	43
Figura 28. Lenguaje MySQL y plataforma XAMMP	45
Figura 29. Tabla datos_pacientes	46
Figura 30. Tabla Resultados examen.....	46
Figura 31. Ingreso al sistema	47
Figura 32. Ventana principal de la GUI	47
Figura 33. Menú de opciones referente a los pacientes	48
Figura 34. Ventana de registro de paciente.....	48
Figura 35. Ventana de Consulta de pacientes.....	49
Figura 36. Ventana de edición de pacientes	50
Figura 37. Ventana de borrado de pacientes	50
Figura 38. Validación del paciente para ingresar a la plataforma de toma del examen.	51
Figura 39. Plataforma para la toma del examen de esfuerzos maxilofaciales.....	52
Figura 40. Menú desplegable para la exportación del archivo .xls	52
Figura 41. Esquema del sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales	54
Figura 42. Ingreso con usuario válido a la aplicación	61
Figura 43. Ventana principal de la aplicación	62
Figura 44. Registro de nuevo paciente	62
Figura 45. Habilitación del botón de toma de examen en la ventana principal de la aplicación	63
Figura 46. Ventana para la toma del examen.....	63
Figura 47. Resultado del examen de esfuerzos maxilofaciales de un paciente	64
Figura 48. Consulta de los datos y resultados del examen de esfuerzos maxilofaciales de un paciente.	65
Figura 49. Edición de los datos de un paciente ya registrado.	66
Figura 50. Edición de otro paciente después de haber editado un primer paciente.	66
Figura 51. Secuencia de exportación de los datos de un paciente en formato.xls	67
Figura 52. Archivo exportado con los datos y resultados de los exámenes de un paciente en específico.....	67
Figura 53. Borrar paciente de la base de datos.....	68
Figura 54. Verificación del correcto borrado de los datos de un paciente	68
Figura 55. Pieza adicional para la medición de fuerza de los músculos maseteros	70
Figura 56. Pieza adicional para la medición de fuerza de la lengua.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fuerzas máximas de mordida en diferentes puntos bucales.....	22
Tabla 2 Factor de cobertura k y nivel de confianza correspondiente p.	58
Tabla 3 Resultados de exámenes de esfuerzos maxilofaciales en una muestra de 10 personas.....	69

GLOSARIO

- **Gnatodinamómetro:** Conocido también como oclusómetro, es un instrumento de medida de la fuerza ejercida durante el proceso de oclusión.
- **Galga extensiométrica:** Es un transductor que varía su resistencia eléctrica al experimentar una fuerza aplicada. Dicha variación de resistencia puede ser medida, por ello se convierte en una de las herramientas más importantes en la técnica de medición de magnitudes eléctricas.
- **Puente de Wheatstone:** Circuito eléctrico desarrollado originalmente para medir valores de resistencia desconocidos y como un medio para calibrar instrumentos de medición. Consiste en una red circuito de cuatro resistencias, una o más de estas resistencias pueden ser elementos sensores activos. El puente es el equivalente eléctrico de dos circuitos divisores de voltaje paralelos, la salida de un puente se mide entre los nodos intermedios de los dos divisores de voltaje. La configuración del puente de Wheatstone se usa para ayudar a medir las pequeñas variaciones en la resistencia que producen los elementos de detección correspondientes a un cambio físico en la muestra.
- **Terapia miofuncional:** Corresponde a una disciplina que se encarga de la valoración, diagnóstico y corrección de disfunciones orofaciales que pueden influir significativamente en múltiples aspectos, como lo son la producción del habla, la estructura de los dientes y las relaciones maxilares, entre otros.
- **Articulación temporomandibular:** Es una articulación compleja a nivel anatómico y funcional. De acuerdo a la definición de Granger en 1954, “los músculos de la masticación posibilitan los movimientos mientras que la ATM determinan el patrón de los mismos”.
- **Músculos maseteros:** Pertenece a los denominados músculos de la masticación con la capacidad de ejercer una fuerza de 90 kg. Está formado por dos porciones musculares, una profunda y otra superficial. Los maseteros son los músculos principales que contribuye a tirar de la mandíbula, es decir, que elevan la mandíbula con el fin de cerrar la boca.

- **Músculo temporal:** Es un músculo de la masticación, específicamente elevador de la mandíbula, situado a ambos lados del cráneo que se extiende en forma de abanico sobre la fosa temporal.
- **Pterigoideo interno:** Músculo que se encuentra por dentro de la rama del maxilar inferior. Es elevador de la mandíbula y se usa en la masticación.
- **Ángulo gonial:** Es una magnitud antropométrica que se refiere al ángulo de la mandíbula, se localiza en el borde posterior en la unión del borde inferior de la rama de la mandíbula. El ángulo gonial ha sido nombrado como una herramienta forense para la determinación de género.
- **Periodonto:** Hace referencia a los tejidos que rodean y soportan los dientes para que puedan llevar a cabo sus funciones. Los receptores periodontales ejercen un efecto inhibitorio sobre la actividad muscular que eleva la mandíbula. Por ellos, cuando los dientes entran en contacto se desencadena el reflejo de apertura que sostiene el ciclo masticatorio.
- **Ligamento Periodontal:** Es un tejido conectivo con mucha presencia de vasos sanguíneos que rodea a la raíz del diente y une el cemento radicular con el hueso alveolar.
- **Mecanorreceptores:** Son receptores sensoriales que reaccionan ante la presión mecánica o ante distorsiones. Son también estructuras que corresponde a terminaciones nerviosas libres o encapsuladas, las cuales actúan como transductores, es decir, tienen la capacidad de transformar un estímulo mecánico, químico o electromagnético en un impulso nervioso.
- **Bruxismo:** Trastorno orofacial que se presenta cuando una persona aprieta los dientes o los hace rechinar, lo que desencadena en desgaste dental. Este acto involuntario que puede ser muy dañino tanto para los dientes, como para el sistema masticatorio en general, afectando a músculos y articulaciones. Existen dos tipos de bruxismo, uno de ellos se debe a una falla en el sistema que controla la inhibición de las neuronas motoras de los músculos de la masticación y se le conoce como bruxismo del sueño, este tipo de bruxismo es difícil de tratar además el 4% de la población con trastornos de la ATM lo padece. Por otro lado, se encuentra el bruxismo por efecto de una inestabilidad en la oclusión, este es fácil de tratar.

- **Molibdeno:** Es un elemento químico (Mo) de transición con número y peso atómico de 42 y 95.94 respectivamente. Es un metal esencial desde el punto de vista biológico y se utiliza en aceros distintas aleaciones de acero para endurecerlo o hacerlo más resistente a la corrosión.
- **Impedancia:** Es la oposición al paso de corriente cuando se aplica una tensión. La impedancia extiende el concepto de resistencia eléctrica a los circuitos de corriente alterna y posee tanto magnitud como fase, a diferencia de la resistencia, que solo se tiene magnitud. Por definición, la impedancia es la relación entre el fasor tensión y el fasor intensidad de corriente.
- **Rechazo de Modo Común (CMRR):** Indica la capacidad para rechazar voltajes de modo común entre entradas y salidas. También puede encontrarse como IMRR (Isolation Mode Rejection Ratio – Razón de Rechazo de la tensión de aislamiento).
- **Banda de Paso:** Se define como el rango de frecuencias que un filtro permite pasar, con la mínima atenuación o con alguna amplificación.
- **Frecuencia de corte:** Es la frecuencia donde la respuesta en amplitud está 3 dB (decibels) por abajo del valor de la banda de paso.
- **Filtro Paso Bajo:** Un filtro paso bajo es un filtro que permite las señales situadas por debajo de una frecuencia de corte (conocida como banda de paso) y atenúa las señales situadas por encima de la frecuencia de corte (conocida como banda de atenuación). Al eliminar algunas frecuencias, el filtro crea un efecto de suavizado. Es decir, el filtro produce cambios lentos en los valores de salida para facilitar la observación de tendencias y aumentar la proporción de señal a ruido con una degradación mínima de la señal.
- **Filtro Butterworth:** Se caracteriza por tener una respuesta en amplitud muy plana (sin rizado). La atenuación por encima de la frecuencia de corte es tanto más rápida cuanto mayor es el orden del filtro y la respuesta en fase es ligeramente alineal, ofreciendo una buena aproximación al filtro pasa bajo ideal.
- **Microcontrolador:** Sistema autónomo programable que comprende un procesador, una pequeña memoria y periféricos de entrada y salida. Los

microcontroladores están diseñados para aplicaciones integradas, se utilizan en productos y dispositivos controlados automáticamente, como sistemas de control de motores de automóviles, dispositivos médicos implantables, controles remotos, electrodomésticos, entre otros.

- **Conversor A/D:** Dispositivo electrónico capaz de convertir una señal analógica, ya sea de tensión o corriente, en una señal digital haciendo uso de un cuantificador y codificándose en bits.
- **Resolución:** La resolución de un instrumento digital es el mínimo cambio que puede ser observado en la lectura.
- **Memoria EEPROM:** Memoria programable borrable de solo lectura, como su nombre lo indica, puede ser borrada y programada por medio de impulsos eléctricos.
- **Memoria Flash:** La memoria flash derivada de las siglas EEPROM, permite la lectura y escritura de múltiples posiciones de memoria en la misma operación. Gracias a esto, la tecnología flash mediante impulsos eléctricos, permite velocidades de funcionamiento superiores frente a la tecnología EEPROM primaria.
- **CPU RISC:** La arquitectura computacional RISC, cuyas siglas en inglés se traducen como Computador con Conjunto de instrucciones Reducidas, corresponde a un tipo de diseño de CPU generalmente utilizado en microprocesadores o microcontroladores con características fundamentales como lo son en primer lugar instrucciones de tamaño fijo y presentadas en un reducido número de formatos, y en segundo lugar sólo las instrucciones de carga y almacenamiento acceden a la memoria de datos.

RESUMEN

La ingeniería, de acuerdo con la Real Academia de la Lengua, se define como el *conjunto de conocimientos orientados a la invención y utilización de técnicas para el aprovechamiento de los recursos naturales o para la actividad industrial*. El término ingeniería engloba una serie de disciplinas que se fundamentan en modelos de las ciencias naturales para analizar problemas, con el objetivo de evaluar diferentes escenarios y proponer alternativas de solución, buscando mejorar la calidad de vida de las personas. En adición, la ingeniería interactúa con ciencias aplicadas como las ciencias de la salud, realizando aportes significativos en múltiples aspectos, como por ejemplo en términos de diseño instrumental y también desarrollo de software que permiten reducir costos operacionales tanto en el control de pacientes como en el manejo de su información. En el presente trabajo se extrapolará procesos de ingeniería, en el caso más específico, la ingeniería electrónica, a un problema puntual, como lo es el caso de desarrollar un sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional.

Una de las principales causas de alteraciones que se presentan en el sistema cráneo facial son los hábitos orales, los cuales afectan acciones como la respiración, masticación, deglución y articulación, entre otras. La terapia miofuncional se encarga de prevenir, valorar, diagnosticar y corregir trastornos orofaciales. Algunos de estos trastornos pueden ser determinados a partir de ciertos parámetros, entre los cuales se encuentra la fuerza de la mordida; esta, de acuerdo a la literatura, influye en la estructura cráneo facial. En el área de la fisiología oral, el estudio de la variable de la fuerza de mordida tiene gran importancia debido a que ésta puede determinar el estado de las relaciones maxilofaciales en un individuo. Por ello, es necesario que el profesional de la salud conozca con certeza el valor de fuerza de mordida de un paciente para así determinar si éste padece de trastornos orofaciales. Es por eso que se hace necesario implementar un sistema de medición de fuerza de mordida y desarrollar una forma de registro gráfico y almacenamiento de la información obtenida durante estas mediciones, de tal manera que se adapte al seguimiento de los tratamientos.

Se tiene como objetivo desarrollar un sistema técnicamente válido de medición y registro del funcionamiento maxilofacial de pacientes, buscando el mejoramiento de los procesos de diagnóstico de posibles trastornos, de acuerdo a las necesidades procedimentales de profesionales de la salud. Para lograr esto, en primer lugar, se determina la forma de medición de fuerza de mordida con base en la caracterización general del sistema masticatorio, para posteriormente determinar el sistema de sensado, procesamiento y registro de fuerza de mordida. Además de esto, se crea un protocolo de evaluación o procedimiento técnico para realizar el examen de esfuerzo maxilofacial. Como resultado se obtiene un sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales funcionalmente válido.

Palabras clave: Sistema craneofacial, trastornos orofaciales, terapia miofuncional, fuerza de mordida, sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales.

ABSTRACT

In accordance with the Royal Academy of the Spanish Language, the engineering is defined as the *knowledge base aimed at the invention and utilization of techniques for developing natural resource or for industrial activities*. Engineering includes a whole range of disciplines, which are based on models of the natural sciences to analyse problems, aiming to evaluate different scenarios and propose alternatives. In addition, the engineering interacts with applied science as health science, making significant contributions in multiple (several) (many) aspects, such as in terms of instrumental design and software development that enable operational cost both management of patients and their information. In this document will be extrapolated engineering process, in the specific case, electronic engineering, to a localized problem, as is the case of develop measurement of maxillofacial efforts system of myofunctional therapy.

The oral habits are a cause of disorders of the craniofacial system. They can affect actions such as the breathing, chewing, swallowing, and articulating, inter alia. The myofunctional therapy takes care of orofacial disorders prevention, evaluations, diagnosis and correction. Some of these disorders, can be determined on the basis of certain parameters, among which is the bite force. According to the literature, the bite force influences the craniofacial morphology. In oral physiology, bite force has been considered important in the diagnosis of the disturbances of the stomatognathic or masticatory system, also the bite force is one indicator of the functional state of the system. That is why it is necessary that the health-care professional knows for sure the bite force value of a patient, so that they can determine whether the patient suffer from orofacial disorders. And that is why it requires the implementation of a bite force measurement system and developing a way of graphic registration and storage of information found during these measurements in such a way that is suited to follow-ups of the treatments.

Now, the aim is to develop a technically valid system for measuring and recording of the maxillofacial functioning of patients, looking for the improving of the processes of orofacial disorders diagnosis, according to the procedural requirements of health professionals. In order to achieve this, firstly determines how the bite force will be measured, based on the general characterisation of the masticatory system, and then to determine the sensing system, processing and recording of the bite force. Besides, creating an evaluation protocol or a technical procedure for conducting the review of maxillofacial efforts. The result is a bite force measurement system, and this system is functionally valid.

Keywords: Craniofacial system, orofacial disorders, myofunctional therapy, bite force, maxillofacial efforts measurement system.

CAPITULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN

Para desarrollar el trabajo de grado titulado *Sistema para medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional* es necesario implementar un sistema de medición de fuerza de mordida y desarrollar una forma de registro gráfico y almacenamiento de la información obtenida durante estas mediciones, de tal manera que se adapte al seguimiento de los tratamientos. Este sistema a implementar permitirá que la medición, registro y almacenamiento de la información obtenida sea en tiempo real, reduciendo así la incertidumbre presente en los procesos utilizados anteriormente y el tiempo determinado para realizar el examen por paciente. El sistema será validado por un profesional de la salud capacitado para que pueda ser usado en la clínica y con ello se abre la posibilidad de consolidar nuevamente el laboratorio de fisiología oral de la Universidad del Valle.

1.2 MOTIVACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La terapia miofuncional se encarga de la prevención, valoración, diagnóstico y corrección de trastornos orofaciales, los cuales repercuten en la producción del habla, la estructura dental, la deglución, entre otras relaciones maxilofaciales. Algunos de estos trastornos pueden ser determinados a partir de ciertos parámetros, entre los cuales se encuentra la fuerza máxima de mordida, también conocida como fuerza oclusal, ya que, de acuerdo a la literatura, existe una relación entre dicha fuerza y el crecimiento y desarrollo craneofacial. Por lo cual, el estudio de la variable de fuerza máxima de mordida tiene gran importancia en el área de la fisiología oral, puesto que es un indicador del estado funcional del sistema masticatorio. Por ello, es necesario que el profesional de la salud conozca con certeza el valor de la fuerza máxima de mordida de un paciente para así determinar si éste padece de algún trastorno orofacial.

Debido a esto, es esencial que el profesional a cargo de determinar si un paciente padece de trastornos orofaciales, cuente con un equipo de medida confiable, que le permita conocer los valores de fuerza máxima de mordida de forma sencilla y con la posibilidad de comparar resultados de un mismo paciente en momentos distintos del tiempo. El estudio y medición de esta variable se lleva a cabo generalmente haciendo uso de un gnatodinamómetro, del cual se encuentran diversos diseños en la literatura. Un gnatodinamómetro es básicamente una celda de carga que cuenta con un transductor de deformaciones y un sistema de acondicionamiento de señal, que medirá la deformación sufrida por la celda al ser

sometida a una fuerza. Es diseñado de tal manera que se adecue a la forma de la boca y permita medir la fuerza de la mordida.

Debido a la necesidad de estudiar la influencia de la fuerza máxima de mordida en la salud fisiológica de las personas, la escuela de ingeniería mecánica en conjunto con la escuela de odontología llevó a cabo un proyecto en la Universidad del Valle a principios del año 2000, en el cual se diseñó, construyó y validó un sistema de medición de fuerza de mordida que permitió la consolidación del laboratorio de fisiología oral de la Universidad del Valle[1]. El sistema de adquisición y registro de los datos estaba compuesto por un gnatodinamómetro y un medidor de deformación P-3500 de la casa Micromeritics USA, en donde el registro de los valores de fuerza de mordida era realizado a mano por el profesional de la salud, quién hacía uso de una recta de calibración, relacionando los valores de microdeformación con la fuerza aplicada. Este proceso podía tomar toda una mañana por paciente. Debido a esta alta demanda de tiempo, el laboratorio de fisiología oral fue desmantelado, impidiendo así la posibilidad de futuras investigaciones en el área de fisiología oral en la Universidad del Valle.

Debido a que los procesos y métodos anteriores para la medición y registro de esfuerzos maxilofaciales presentan una alta incertidumbre y gran demanda de tiempo, surge la posibilidad de falsos diagnósticos que inducen al no aseguramiento de la validez de los tratamientos miofuncionales. Se presenta entonces la necesidad de implementar un sistema para la medición de fuerza máxima de mordida y desarrollar una forma de registro gráfico y almacenamiento de la información obtenida en estas mediciones, de tal manera que se adapte al seguimiento de los tratamientos. Este sistema a implementar permitirá que la medición, registro y almacenamiento de la información obtenida sea en tiempo real, reduciendo así la incertidumbre presente y el tiempo determinado para dicho proceso por paciente. El sistema será validado por un profesional de la salud capacitado para que pueda ser usado en la clínica y con ello se abre la posibilidad de consolidar nuevamente el laboratorio de fisiología oral de la Universidad del Valle.

1.3 MARCO REFERENCIAL

La terapia miofuncional se define como el conjunto de procedimientos y técnicas utilizados para la corrección del desequilibrio muscular orofacial, la creación de nuevos patrones musculares en la deglución, la creación de patrones adecuados para la articulación de la palabra, la reducción de hábitos nocivos y el mejoramiento de la estética del paciente[2].

Por medio de la terapia miofuncional se busca prevenir, valorar, diagnosticar y corregir trastornos orofaciales o miofuncionales. Se definen los trastornos miofuncionales como *cualquier característica anatómica o fisiológica de las estructuras dentarias que resulta notablemente diferente e interfiere con un desarrollo normal de la dentición, el habla, la salud afectando la estética y desarrollo psicosocial* [3]. Se incluye la postura de reposo de la lengua, la deglución y las posturas anómalas durante el habla y otras acciones, así como la presencia de hábitos inoportunos o paratípicos que influyen en la forma y función de las estructuras de cara y boca. Por otro lado, se realizó una investigación acerca de la dirección de la fuerza de mordida, el punto de aplicación de ella en la arcada y su relación con la actividad muscular, el registro se hacía unilateral y bilateralmente, en donde las pruebas estadísticas arrojaron como resultado que no existe gran diferencia en la actividad muscular si la fuerza se mide en un lado o en el otro[4].

Cabe resaltar que los trastornos miofuncionales pueden afectar las estructuras orofaciales y por lo tanto sus funciones. De acuerdo a la literatura, una de las variables que contribuye a la aparición de dichos trastornos es la variable funcional de fuerza de mordida. De acuerdo a un trabajo realizado con base en imágenes de resonancia magnética y medición de la fuerza de mordida entre los primeros molares, existe una correlación entre la fuerza de mordida y variables craneofaciales como el espesor de los músculos masetero y pterigodeo interno [5]. Esta medición fue realizada con un gnatodinamómetro. Un gnatodinamómetro es básicamente una celda de carga que permite la medición de la fuerza de mordida aplicada correspondiente a las microdeformaciones que presenta. Por medio de un gnatodinamómetro se realizó un estudio de la fuerza de mordida en un grupo de pacientes entre los 5 y 17 años, encontrando que los valores de fuerza de mordida aumentan conforme incrementa la edad, además dicho valor de fuerza se encuentra relacionada con el peso y estatura[6].

Como ya se ha mencionado anteriormente, la medición y análisis de la fuerza de mordida puede contribuir a la valoración y diagnóstico de personas con trastornos orofaciales o miofuncionales, y para ello existen los gnatodinamómetros de los cuales hay diversos diseños. Además, se hace necesario que la información que arroja este dispositivo sea adquirida, registrada y almacenada. Para ello, se puede hacer uso de tarjetas de adquisición comerciales instaladas en computadores de escritorio o computadores portátiles [7]. Por otra parte, en lugar de utilizar un computador para procesar y almacenar la información, se hace uso de dispositivos Hardware, tales como osciloscopios e interfaces análogas [8],[9].

Cabe resaltar que en el año 2000, con el ánimo de estudiar las variables fisiológicas y de consolidar el laboratorio de fisiología oral de la Universidad del

Valle, la escuela de Odontología en un trabajo conjunto con la escuela de Ingeniería Mecánica realizaron el diseño, construcción y validación de un gnatodinamómetro, de tal manera que se adecuó a la forma de la boca para así medir la fuerza de apretamiento oclusal [1]. Más tarde, en la Universidad CES, se tenía como objetivo diseñar un sistema de adquisición y almacenamiento de información de fuerza oclusal, el cual fuera de fácil instalación y operación para ser usado en el área de crecimiento y desarrollo craneofacial del Grupo de Investigación en Bioingeniería, GIB CES-EAFIT[10].

En el presente trabajo se busca el desarrollo de un sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional. Las bases teóricas y antecedentes, se abordan con mayor profundidad a lo largo del escrito, con el ánimo de aclarar los aspectos puntuales de cada una de las etapas del trabajo.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema técnicamente válido de medición y registro del funcionamiento maxilofacial de pacientes para la mejora de los procesos de diagnóstico de posibles trastornos, de acuerdo a las necesidades procedimentales de profesionales de la salud.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar de manera general el sistema muscular bucal para determinar la forma de medición de la fuerza de mordida en varios puntos bucales.
- Implementar el sistema de sensado de la medida de fuerza de mordida de una persona.
- Desarrollar un sistema de procesamiento para garantizar la estabilidad y la repetibilidad de la variable a medir
- Desarrollar una interfaz gráfica para presentar y almacenar la información obtenida.
- Crear un protocolo de evaluación y validar funcionalmente el sistema.

CAPITULO 2: CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL SISTEMA BUCAL

2.1 INTRODUCCIÓN

Para determinar la forma de medición de fuerza de mordida, se realiza también, la caracterización general del sistema masticatorio.

En el área de fisiología oral se determina el nivel de fuerza de mordida con el objetivo de comprender la mecánica del sistema masticatorio, para diagnosticar trastornos orofaciales, ya que la eficiencia muscular y la función de masticación se ven afectadas por dicha variable. Para la prevención y corrección de dichos trastornos, se emplea la terapia miofuncional que se define como el conjunto de procedimientos y técnicas utilizados para tal fin. Existen múltiples factores que influyen en la fuerza de mordida, entre ellos se encuentran las condiciones de la dentición, fuerza de los músculos de la masticación, condiciones de la articulación temporomandibular y el umbral del dolor del paciente[11].

Se usan diferentes métodos para la medición de fuerza de mordida, desde el uso de transductores adecuados que se colocan entre los dientes hasta el estudio de la actividad electromiográfica de los músculos relacionados con la producción de la fuerza.

Existen distintos factores que afectan las mediciones de fuerza de mordida; por ello, múltiples investigadores del área han encontrado un ancho intervalo de valores de fuerza de mordida máxima [12], donde la correcta medida de esta variable depende no sólo de características anatómicas y fisiológicas de los pacientes, sino también de las características del sistema de registro de fuerza de mordida.

Cabe aclarar que la medida de fuerza de mordida se ve afectada por factores como la edad, el género, el estado dental, la morfología craneofacial, peso estatura e índice de masa corporal [13].

2.2 SISTEMA BUCAL Y FUERZA DE MORDIDA

Por medio de la terapia miofuncional se busca prevenir, valorar, diagnosticar y corregir trastornos orofaciales o miofuncionales, ya que estos pueden repercutir en aspectos como el habla, la estructura de los dientes y las relaciones maxilofaciales. De acuerdo a la literatura, una de las variables que contribuye a la aparición de dichos trastornos y que de igual forma puede indicar el estado funcional del sistema masticatorio es la variable funcional de fuerza de mordida.

Se enfatiza en que se obtiene la fuerza máxima de mordida gracias a la acción, orientación, coordinación y volumen de los músculos masticatorios [14], específicamente los elevadores de mandíbula, los cuales corresponden a los músculos maseteros, temporal, pterigoideo medial y vientre superior del pterigoideo lateral.

De acuerdo a un trabajo realizado con base en imágenes de resonancia magnética y medición de la fuerza de mordida entre los primeros molares, se llegó a la conclusión de que existe una correlación entre la fuerza de mordida y variables craneofaciales como el espesor de los músculos masetero y pterigoideo interno[5], en la figura 1 se pueden observar dichos músculos y su ubicación en la estructura craneofacial. Se realizaron grabaciones fisiológicas de la fuerza de mordida en la región del primer molar derecho haciendo uso de un transductor personalizado alineado perpendicularmente al plano oclusal funcional. Este último corresponde a la línea que atraviesa el punto de contacto interoclusal más alejado de los primeros molares y por el punto medio de la sobremordida de los caninos[15].

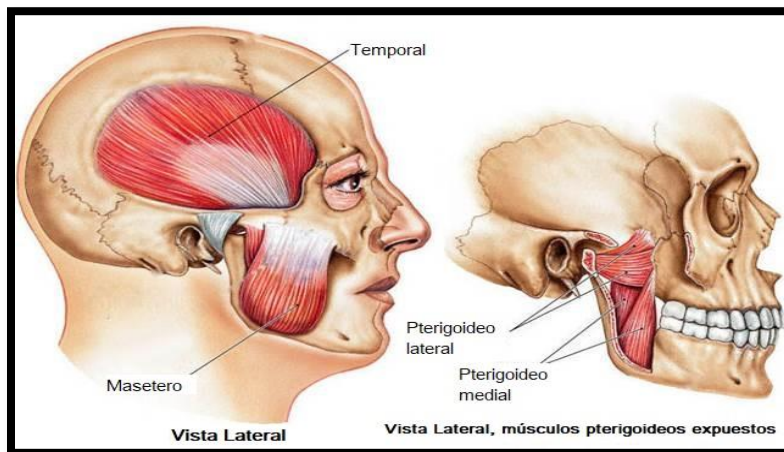


Figura 1. Músculos elevadores de mandíbula. [16]

En la bibliografía, existe una correlación negativa entre la fuerza de mordida y la inclinación mandibular [17], se afirma que la fuerza máxima de mordida varía con las medidas de los huesos craneofaciales incluyendo la inclinación de la mandíbula y el ángulo gonial [18]. Además también se sugiere que existe una relación entre el grosor muscular, el espesor de los músculos masetero y temporal y la fuerza de mordida. En relación a esto, algunos autores explican que se puede presentar mayor fuerza de mordida en personas con cara corta en comparación con personas que presentan una cara dentro del promedio o más larga, esto debido a que en las personas de cara corta, los músculos maseteros presentan un mayor grosor[19].

Por otra parte, la edad es otro factor que influye en el valor de fuerza máxima de mordida. Debido a que el proceso de envejecimiento incrementa la pérdida de masa y fuerza muscular, aproximadamente después de los 25 años en las mujeres y después de los 45 años en los hombres [20]. De igual forma, se observa que el género es otro factor que afecta la variable de fuerza de mordida, se puede afirmar que la fuerza máxima de mordida es mayor en hombres que en mujeres, esto debido a las diferencias en la anatomía[20], [21]. Teniendo en cuenta que el tejido muscular se compone de fibras y que estas a su vez se dividen en fibras de tipo I y II, donde la primera corresponde a las fibras de contracción lenta con mayor resistencia a la fatiga y diámetro pequeño y la segunda corresponde a fibras de contracción rápida y su desarrollo de fuerza es de tres a cinco veces mayor que el desarrollo de fuerza de las fibras de tipo I [22] , se podría explicar una de las razones anatómicas de por qué las personas de género masculino presentan mayor fuerza de mordida que las del género femenino, ya que los hombres presentan fibras de tipo II con mayor diámetro y área seccional que las de las mujeres [21] . Según algunos autores, esto se debería al factor hormonal, ya que podría contribuir a la composición de las fibras musculares [23].

En una investigación realizada en el 2004, se registró un valor más alto de fuerza de mordida en hombres, donde la razón de este resultado fue atribuida a que en promedio los hombres presentan un mayor tamaño dental [24]. Esto implica que se puede presentar un nivel mayor de fuerza de mordida debido a que al tener un mayor tamaño dental se presentan mayores áreas de ligamento periodontal, el cual corresponde a una zona de tejido conectivo denso del periodonto, como puede observarse en la figura 2, que se encarga de sostener al diente dentro de su cavidad ósea además de cumplir las funciones de transmisión de fuerzas oclusales al hueso y resistencia al impacto de las mismas, inserción del diente al hueso y protección de los vasos sanguíneos y nervios involucrados [25].

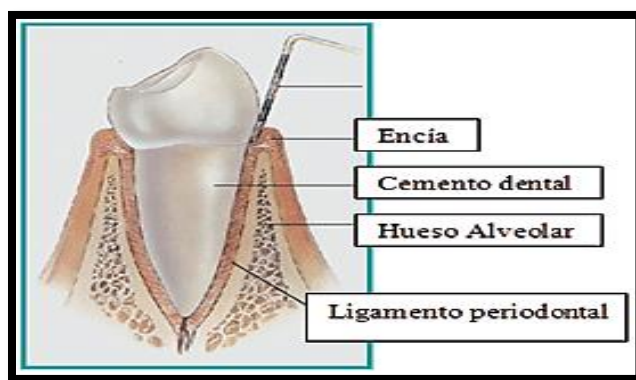


Figura 2. Periodonto [26].

Existen diversos artículos en la literatura donde se relaciona la variable de fuerza de mordida con el ligamento periodontal[27], donde se determinó que la capacidad oclusiva es mayor en personas con el periodonto sano en comparación con personas que presentaban inflamación del mismo. Por otra parte, se ha explicado que la fuerza de mordida es mayor en la parte posterior del sistema dentario debido al sistema mecánico de palanca de la mandíbula y por la existencia de una amplia área de ligamento periodontal en los dientes posteriores[28] .

También, teniendo en cuenta que las fuerzas de carga inducidas por los músculos del sistema masticatorio se controlan a través de los mecanorreceptores del ligamento periodontal, los cuales se encargan del control neuromuscular de los diferentes movimientos y posiciones mandibulares además de proporcionar la sensación oclusal [16], una reducción del soporte periodontal puede disminuir la capacidad de los mecanorreceptores y así ocasionar variaciones en la fuerza de mordida [29]. En cuanto a esto, también se ha indicado que aquellas personas que presentan pérdida de inserción demuestran alteración de la función sensorial que desencadena una menor capacidad de control de la fuerza con la que muerden [30]. Sin embargo, existen autores que discrepan de las afirmaciones anteriores, declarando que el hecho de reducirse el soporte del tejido periodontal no disminuye el valor de fuerza máxima en la dentición natural, igualmente explican que el número reducido de mecanorreceptores periodontales sería suficiente para el sistema de retroalimentación adecuado limitando la fuerzas de mordida y masticación [29]. Las diferentes opiniones podrían ser una consecuencia de emplear distintos sistemas de registro y medición durante las investigaciones.

Así mismo, existen estudios dónde se especifican otros factores influyentes en el nivel de fuerza de mordida, los cuales corresponden al dolor y desordenes temporomandibulares [31], siendo estos últimos definidos con base en signos y síntomas entre los cuales se encuentran la articulación temporomandibular y dolor muscular, limitación de la apertura de la boca, ruidos articulares que se presentan durante el movimiento mandibular conocidos como clicking y crepitación [32].

Algunos autores afirman que la presencia de dolor en los músculos masticatorios además de la inflamación de la articulación temporomandibular limitan la fuerza máxima de mordida[23] e incluso sería la causa más frecuente [31]. Un desorden que contribuye al dolor de los músculos masticatorios e inflamación de las articulaciones temporomandibulares es el bruxismo que se caracteriza por apretar o rechinar los dientes. Haciendo uso de un gnatodinamometro se midió el valor de fuerza de mordida de un grupo de personas con bruxismo en el área de los molares, y se encontró que dicho valor era hasta seis veces mayor al de los no bruxistas [33].

Por otra parte, el número de dientes naturales y sus contactos oclusales pueden afectar de manera importante al valor de fuerza de mordida [34]. Se ha encontrado que aquellas personas con dentición natural presentan una mayor fuerza de mordida en contraste con personas que presentan prótesis completa, prótesis parcial fija y parcial removible, al expresarse como porcentaje de la fuerza de mordida con dentición normal se obtiene como resultado 11%, 80% y 35% respectivamente [35].

Se debe tener en cuenta que la posición en el arco dental donde se tome las medidas de fuerza de mordida puede influir en los músculos involucrados en la producción de la fuerza, en la figura 3 se puede observar los diferentes tipos de dientes y la ubicación de los mismo en el arco dental. Si la medida se realiza entre los incisivos, el músculo masetero producirá la mayor parte de la fuerza junto con el músculo pterigoideo medial. A medida que se tome la medida en una posición más posterior, las fibras anteriores del músculo temporal se activarán más y por ello se hace un gran contribución a la producción de fuerza[28].

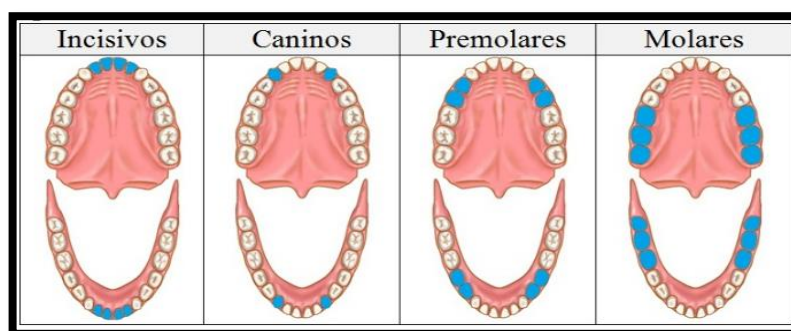


Figura 3. Tipo de dientes [36].

De acuerdo a estudios realizados en los años 1989 [4] y 1991 [37], se determinaron las fuerzas máximas de mordida en diferentes puntos bucales. Los resultados obtenidos en estas investigaciones son expuestos en la tabla 1, además de ser ilustrados en la figura 4.

Investigación	Punto bucal	Fuerza de mordida máxima [N]
1991 Autor: van Eijden	Caninos	469 N $\pm$ 85 N
	Premolares	583 N $\pm$ 99 N
	Molares	723 N $\pm$ 138 N
1989 Autor: R. Craig	Premolares	228 N
	Caninos	208 N
	Incisivos	155 N

Tabla 1. Fuerzas máximas de mordida en diferentes puntos bucales

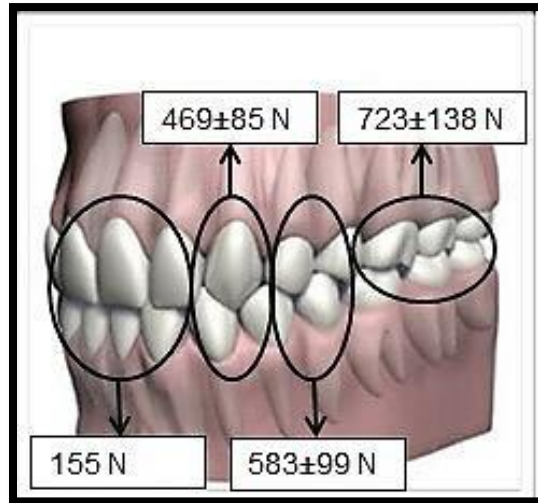


Figura 4. Fuerzas masticatorias máximas sin alimentos [38]

En 1994 se realizó un estudio en donde se midió las fuerzas oclusales haciendo uso de un transductor eléctrico triaxial, los valores obtenidos corresponden a un promedio de 545,7 N en un grupo de cinco hombres y un promedio de 383.6 N en un grupo de 61 mujeres. La fuerza máxima de mordida que se registró en cada uno de los grupos fue de 888 N en los hombres y 576N en las mujeres [39]. Igualmente, se llevó a cabo un estudio con individuos colombianos el cual se obtuvo como resultado una fuerza máxima de cierre de promedio 400.34 N, en un rango de 146 N hasta 587 N [38].

Por otra parte, algunos autores afirman que en los seres humanos suelen existir grandes variaciones en la fuerza de mordida producida en los primeros molares con base en grabaciones fisiológicas de dicha fuerza de un grupo de 11 individuos adultos por medio de un transductor personalizado ubicado en la región del primer molar derecho, obteniendo como resultado una fuerza de mordida promedio de 189 ± 78 N [5].

A continuación se presentan los resultados de un estudio realizado en el 2015 en la Universidad Adventista de Chile. Dicho estudio se llevó a cabo con una población de 50 personas entre los 18 y 25 años, en donde cada uno de los registros fueron efectuados a través de un dispositivo de medición portátil de fuerzas de mordida GM10, Nagano Keiki (Tokyo, Japón). Las medidas se tomaron en las regiones de los molares, premolares, caninos e incisivos. Finalmente, se obtuvieron los resultados del valor de fuerza de mordida en diferentes puntos bucales y diferenciando entre el género masculino y femenino. En los hombres, el promedio de la medida de fuerza de mordida fue de 698 N, 516 N, 322 N y 220 N, en las regiones molar, premolar, canina e incisiva, respectivamente. De igual

forma, en las mujeres se obtuvo un promedio de fuerza de mordida de 466 N, 431 N, 232 N y 174 N en las regiones molar, premolar, canina e incisiva, respectivamente [40]. Con esto, se puede llegar a la conclusión de que existen diferencias significativas del valor de fuerza de mordida entre los diferentes puntos bucales y con respecto al género.

Con base en lo expuesto anteriormente, se puede afirmar que los mayores valores de fuerza de mordida para cada género se hallan en la región de los molares. Por ello, la medición de la fuerza máxima de mordida se realizará en la región del primer molar derecho.

CAPITULO 3: SISTEMA DE SENSADO DE LA MEDIDA DE FUERZA DE MORDIDA DE UNA PERSONA

3.1 INTRODUCCIÓN

En cuanto a sistemas para la medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional, existen diversos trabajos sobre los métodos para la medición de fuerza de mordida, los cuales van desde dispositivos completamente mecánicos, hasta complejos sistemas electrónicos. Principalmente, se realiza la medición directa de la fuerza de mordida, haciendo uso de gnatodinamómetros que en su mayoría se ubican en el área de los primeros molares durante la oclusión, aunque también se puede medir la fuerza de mordida de forma indirecta a través del análisis de la actividad electromiográfica de los músculos del sistema masticatorio [14]. El uso de gnatodinamómetros corresponde a los medios más antiguos disponibles para evaluar la eficacia de la función del sistema masticatorio a través de la obtención de resultados cuantitativos. El diseño, construcción y uso de gnatodinamómetros se registran desde el año 1681 en Italia por Borelli [41].

Por otra parte, aunque se han reportado resultados con alto nivel de precisión y exactitud en los diferentes diseños presentes en la literatura, se ha encontrado que el diseño del dispositivo afecta la medición obtenida [9], también la medición de fuerza de mordida se ve afectada si esta se realiza de manera bilateral o unilateral, asimismo depende de la posición del sensor de fuerza de mordida en relación con el sistema dentario, se tiene en cuenta que entre más posterior se coloque el sensor, la fuerza de mordida obtenida es mayor [42].

En el momento en que se determine el diseño de gnatodinamómetro a implementar y el material en el que se ha de construir, es pertinente que se realice un estudio con el fin de determinar el lugar propicio para la ubicación del transductor de deformaciones. Dichas deformaciones son debidas a la fuerza a la que es sometida la celda de carga, específicamente la fuerza de mordida de una persona. Para esto se hace uso del software COMSOL Multiphysics® Modeling.

Una vez se determina el diseño de la celda de carga a implementar y se realiza la simulación en COMSOL, para determinar la región de la celda de carga en donde mayormente se presentan deformaciones al ejercer un esfuerzo sobre esta, se procede a elegir el transductor que se encargará de sensar dichas deformaciones y traducirlas en diferencias de potencial, además del tipo cable que se necesita para la conexión entre el transductor y el sistema de acondicionamiento.

3.2 ANTECEDENTES

Debido a la importancia de la fuerza de mordida como indicador del estado masticatorio de una persona, a lo largo de la historia diferentes investigadores se han centrado en hallar una forma adecuada de medirla. La primera investigación de la cual se tiene registro corresponde a la realizada por Borelli en 1681, quién realizó un estudio experimental donde definió las fuerzas intraorales haciendo uso de un gnatodinamómetro que él mismo diseñó, el cual consistía de una soga con distintos pesos atados a la unión de sus dos extremos que se posicionaban sobre la mandíbula abierta, la fuerza de mordida era estimada con base en el peso que podía elevar al cerrar la mandíbula como puede observarse en la figura 5.

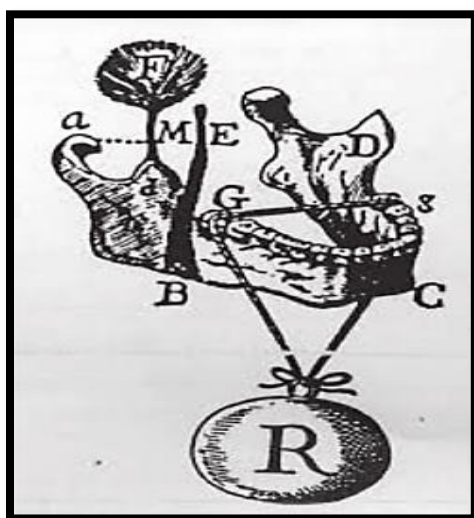


Figura 5. Gnatodinamómetro de Borelli [44].

Más tarde, en el año 1911, ante la suposición de que para una mandíbula firmemente cerrada era necesario superar el esfuerzo muscular ejercido para realizar el contacto entre las superficies oclusales de los dientes, un investigador de apellido Eckermann diseñó e implementó un gnatodinamómetro en acero con la estructura de un alicate, donde la superficie a sujetar entre los dientes correspondía a un material más blando que el acero. Luego, el Dr Black hizo uso de un gnatodinamómetro compuesto de una viga rígida y un resorte plano. El estudio realizado con este instrumento arrojó como resultado un promedio de 627,63 N para fuerza de mordida de un grupo de 1000 jóvenes adultos. Posteriormente, Morelli utilizó un dinamómetro de Collin, el cual corresponde a un instrumento para evaluar la fuerza muscular, con el objetivo de medir la fuerza de mordida hasta el momento en el que el periodonto llegara a ser altamente

sensible, descubriendo con este estudio que la tolerancia del periodonto es proporcional al área de la región del instrumento de medida que entra en contacto con los dientes durante la oclusión[43].

En investigaciones posteriores se hace uso de un gnatodinamómetro bilateral el cual consiste en un tubo de caucho, con aire presurizado en su interior, que se interpone entre los dientes, dicho tubo va conectado a un sensor de presión [44]. En estudios posteriores se empleó un equipo que consistía en dos vigas unidas en uno de sus extremos. Las dimensiones de cada una de las vigas de este equipo corresponden a 15 mm tanto para altura como para ancho y 155 mm de largo, donde presentaba un adelgazamiento de hasta 2mm en el extremo dónde se aplicaría la fuerza [45], [46].

Además de esto, existe un equipo a nivel comercial que se encarga de medir no sólo la fuerza oclusal sino también la fuerza ejercida por la lengua y de igual forma las fuerza de los músculos maseteros. Todo esto gracias a que dispone de distintos accesorios cómo se muestra en la figura 6. La medida de las microdeformaciones se realiza através de un sistema completamente análogo como puede verse en la figura 7. Este equipo es el Medical Oro Myo-Functional Therapy Myoscanner Device. Actualmente, es utilizado en exámenes de terapia miofuncional en la clínica Farrallones de la ciudad de Cali.



Figura 6. Accesorios del Medical Oro Myo-Functional Therapy Myoscanner Device.



Figura 7. Sistema de medición del Medical Oro Myo-Functional Therapy Myoscanner Device

Así mismo, en el año 2000 con el objetivo de desarrollar un sistema que permitiera el estudio de variables fisiológicas para así consolidar el laboratorio de fisiología oral de la Universidad del Valle, en la Escuela de Odontología en conjunto con la escuela de Ingeniería Mecánica de la universidad se diseñó, construyó y validó un gnatodinamómetro, de tal manera que se adecue a la forma de la boca para así medir la fuerza de apretamiento oclusal[1], como se puede observar en la figura 8. Para ello, las microdeformaciones de la celda de carga se registraban a través de un medidor de deformación strain indicator P-3500 Micrommeasurements, para posteriormente evaluar a través de curvas de calibración la correspondencia entre la microdeformación y la fuerza oclusal aplicada al gnatodinamómetro, dicho medidor se muestra en la figura 9. La calibración del equipo se realizó correlacionando los valores de microdeformación y sucesivos incrementos de fuerza conocida interponiendo el gnatodinamómetro y un dinamómetro de compresión el cual registra los incrementos de fuerza. La validación del sistema se realizó con base en las curvas de calibración obtenidas de microdeformación versus fuerza conocida aplicada, obteniendo como promedio de fuerza de mordida o apretamiento oclusal de 369 N, en un grupo de pacientes conformado por siete (7) niños de aproximadamente 10 años de edad.



Figura 8. Gnatodinamómetro diseñado en la Universidad del Valle.

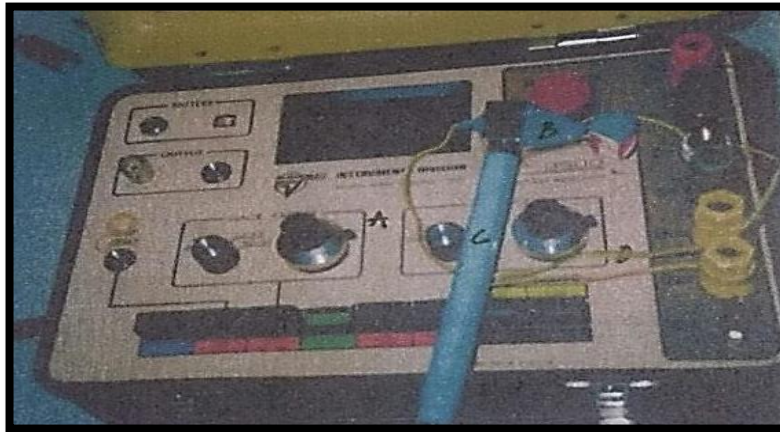


Figura 9. Strain indicator P-3500 Micromeasurements

Por otra parte, se llevó a cabo un trabajo por el Grupo de Investigación en bioingeniería CES-EAFIT, el cual tenía como objetivo diseñar un sistema pequeño de adquisición y almacenamiento de información de fuerza oclusal que fuera de fácil de instalación y operación para ser usado en el área de crecimiento y desarrollo craneofacial [10]. Se desarrolló un sistema de datos que implicó la recolección y conversión de una señal análoga proveniente del gnatodinamómetro, a una señal digital para su posterior registro, almacenamiento y visualización. El sistema fue configurado para almacenar el registro de la fuerza de mordida de hasta 60 personas, en donde cada registro puede contener hasta 6 medidas de fuerza oclusal. La información obtenida era almacenada en memorias tipo EEPROM (electrically erasable programable read only memory) para posteriormente ser descargada en un computador a partir de una aplicación de software desarrollada en Borland-Delphi. Los archivos descargados se encontraban en formato de texto plano (*.txt), permitiendo así el análisis de estos mediante una hoja de cálculo. Cabe resaltar que, el conocimiento sobre el estado del arte de la medición y registro de la fuerza de mordida, permite que el diseño a implementar sea óptimo.

3.3 DISEÑO IMPLEMENTADO

Para el diseño de la celda de carga del sistema de medición de fuerza de mordida, se tomaron en cuenta los diseños realizados anteriormente, en especial el diseño del Medical Oro Myo-Functional Therapy Myoscanner Device, ya que desde hace varios años es usado en la Clínica Farrallones de Cali para los exámenes en terapias miofuncionales. La celda de carga implementada se expone en sus vistas isométricas (Frontal, lateral derecho y superior) y a su vez se muestra un modelo 3D de la misma.

3.3.1 MATERIAL UTILIZADO

El material del cual está compuesto el gnatodinamómetro corresponde a acero 316, siendo este un tipo de acero inoxidable que incorpora cerca de 2 % a 3 % de molibdeno, esta adición aumenta la resistencia general a la corrosión y proporciona una mayor resistencia a temperaturas más altas. Se mejora la resistencia a la corrosión, especialmente contra los ácidos sulfúrico, clorhídrico, acético, fórmico y tartárico; sulfatos de ácido y cloruros alcalinos. Además de esto, el acero 316 cuenta con un módulo de elasticidad de 193×10^3 MPa en tensión.

El acero 316 se usa generalmente en aplicaciones industriales donde se involucran el procesamiento de químicos y de igual forma debido las cualidades no reactivas que posee, se utiliza en la fabricación de instrumentos quirúrgicos. Además, se tiene en cuenta que cuando el acero inoxidable 316 se encuentra almacenado por un gran tiempo éste permanece prácticamente inalterable. Debido a lo anterior, se determinó construir el gnatodinamómetro de acero 316.

3.3.2 DIMENSIONES Y ENSAMBLE

Como se dijo anteriormente, con base en el Medical Oro Myo-Functional Therapy Myoscanner Device se determinaron las dimensiones y la forma del gnatodinamómetro a utilizar en este proyecto. Antes de realizar la construcción física del mismo, en el programa AutoCad se diseñaron los planos de la celda de carga y con base en esto se construyó un modelo 3D de la misma.

El diseño de la estructura se realizó con base en el concepto de viga en voladizo (cantilever beam), lo cual hace referencia a una viga anclada en uno de sus extremos a un soporte del que sobresale, en este caso particular el diseño del gnatodinamómetro cuenta con una viga superior y una inferior ancladas al mismo soporte. Cabe resaltar que las dimensiones del gnatodinamómetro se

establecieron en milímetros y a continuación se expone el dispositivo en sus vistas isométricas (posterior, lateral derecho y superior) y a su vez se muestra un modelo 3D del mismo.

En primer lugar se expone la celda de carga en sus vistas isométricas que corresponden a la vista posterior, lateral derecho y superior; donde se aprecian diferentes áreas que van etiquetadas en orden alfabético desde la letra A hasta la F. El área A corresponde a la viga superior que contiene a su vez las áreas B y D, con 115 mm de largo en su totalidad y 6 mm de ancho. El área B corresponde a una abertura que permite la salida de los conectores ya sea de una galga extensiométrica o un sistema de galgas que se encarga de medir las microdeformaciones que se presentan en la estructura; esta área cuenta con 48 mm de largo. El área C corresponde a un tornillo, el cual tiene como objetivo dejar abierta la posibilidad de que en futuros trabajos, puedan ser usados diferentes accesorios con los cuales se podría medir tanto la fuerza de los músculos maseteros como la fuerza ejercida por la lengua. Por otra parte, se encuentra el área D, la cual cuenta con 20 mm de largo y 1 mm de espesor. Esta área se encuentra en pleno contacto con la boca del paciente mientras se realiza el examen donde se determina su fuerza de mordida. Adicionalmente, el área denotada con la letra E corresponde a la región de unión de las dos vigas con 17.5 mm de largo y 25 mm de ancho, haciendo uso de dos tornillos con 3.5 mm de radio para la base y 1.5 mm de radio para el cuerpo; esta área puede apreciarse en la figura 11 ya que corresponde a la vista frontal de la celda e carga. Por último, se encuentra el área F que corresponde a la viga inferior y es allí donde se tomarán las medidas de microdeformación, ya que es la región que experimentará grandes niveles de deformación al ser sometida a una fuerza que la deforma. Como se dijo anteriormente, se presenta las dimensiones de la celda de carga inicialmente en su vista lateral.

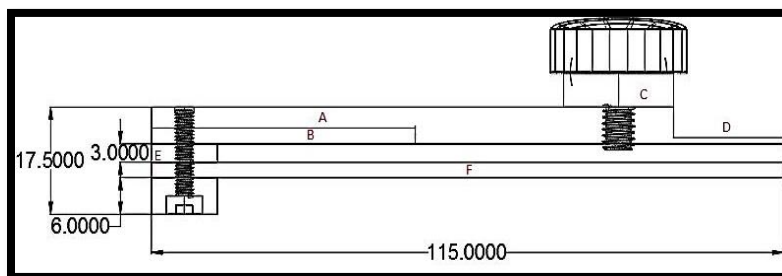


Figura 10. Vista del lateral derecho de la celda de carga.

Con el ánimo de enseñar la celda de carga en diferentes vistas isométricas, se muestra a continuación la vista posterior y superior de la misma.

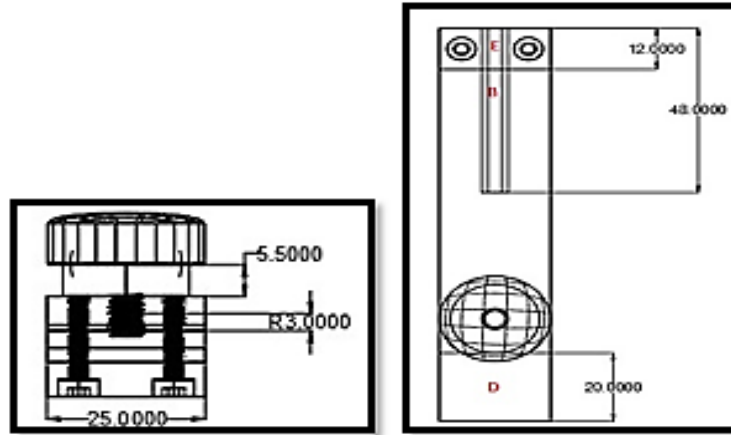


Figura 11. Vista posterior y superior de la celda de carga respectivamente.

De acuerdo con los planos diseñados, se expone un modelo 3D de la celda de carga en el Software AutoCAD.

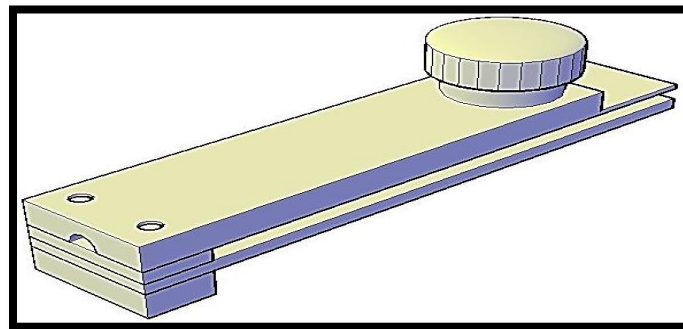


Figura 12. Modelo 3D del gantodinamómetro

3.4 SIMULACIÓN EN COMSOL Multiphysics® Modeling Software

Debido a que las celdas de carga generalmente hacen uso de transductores de fuerza, los cuales convierten una carga mecánica aplicada en una diferencia de potencial, se hace necesario que exista un sistema de predicción de la deformación para ubicar el transductor de microdeformaciones en el sector adecuado de la celda con el fin de medir las deformaciones que esta sufre al ser sometida a una fuerza. Por ello, se realizó una simulación en COMSOL de la celda de carga diseñada para este proyecto.

Se construyó un modelo de mecánica de sólidos 3D, cuya geometría en primer lugar fue dibujada en AutoCAD, como se explicó anteriormente, y fue importada haciendo uso del módulo de importación CAD de COMSOL.

Puesto que la simulación en COMSOL del sólido realizado en AutoCAD conlleva demasiado tiempo debido a la complejidad del diseño y, por ende, consume una gran cantidad de recursos, se optó por construir el modelo directamente desde COMSOL, teniendo en cuenta que la idea de hacer un modelo por elementos finitos es construirlo de la manera más simple posible. Para esto, una vez se ha determinado que se construirá un modelo de mecánica de sólidos 3D, se selecciona un tipo de estudio estacionario, ya que la visualización que se desea obtener de las deformaciones de la celda de carga depende de la fuerza aplicada a esta y no del tiempo. Se procede entonces a construir la celda de carga haciendo uso de la herramienta Geometría de COMSOL, una vez realizado esto se procede a formar la unión de todas las partes que conforman la celda y se define el material del que está hecho; para la simulación se define como material al acero estructural el cual se aproxima al comportamiento del acero 316 que no se encuentra entre los materiales presentes en la versión de COMSOL con la se cuenta. Posterior a esto se efectúa el mallado de la estructura para luego definir dónde se realiza la fuerza y diferentes magnitudes de esta variable.

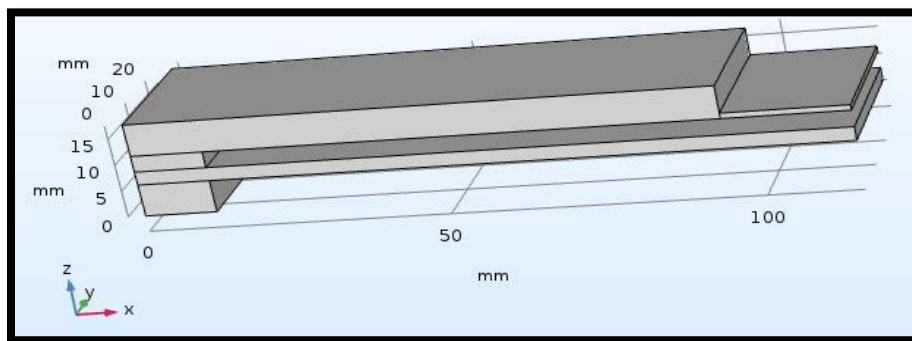


Figura 13. Celda de carga construida en COMSOL.

Se procede a realizar la simulación de las deformación que sufre la celda de carga en relación con la fuerza aplicada, a dicha fuerza se le asigna tres valores distintos en Newton [N], dichos valores corresponden a las fuerzas de mordida promedio de niños, mujeres y hombres adultos. Se tomó 369 N como valor de fuerza de mordida para niños, valor que fue expuesto en el trabajo realizado en la Universidad del Valle[1] y valores de fuerza de mordida de 383.6 N y 545.7 N para mujeres y hombres respectivamente, expuestos en un estudio realizado en 1994 con ciudadanos colombianos[38]. El primer diseño que se implementó, se modificó con el objetivo de obtener una mayor estabilidad de la variable a medir,

específicamente se aumentó el espesor de la viga inferior a 6 mm como puede observarse en la figura 14.

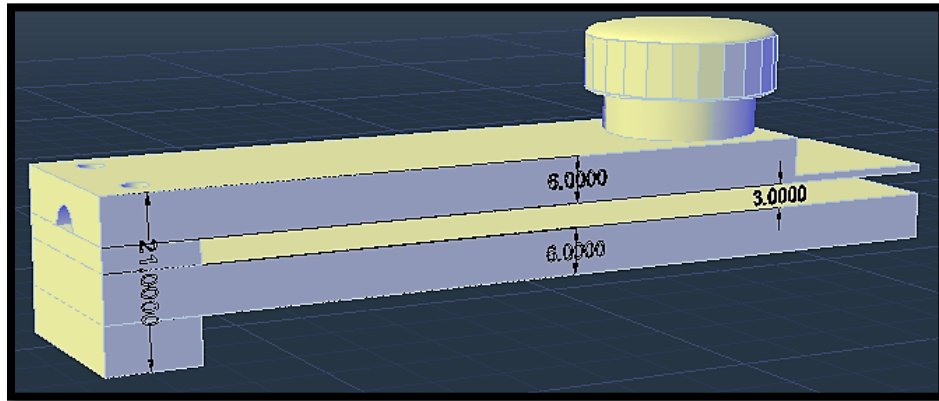


Figura 14. Modelo 3D modificado del gnatodinómetro

Se realizó la simulación por medio de un método iterativo en COMSOL que corresponde a ejercer la fuerza realizando 10000 iteraciones. Obteniendo como resultado las deformaciones sufridas por la viga inferior encontrando que la mayor deformación se presenta en el extremo libre de la viga como se puede observar en la figura 15, debido a que se debe garantizar la protección y salubridad del transductor este no se debe ubicar en un lugar que tendrá contacto directo con la boca del paciente, Por ello se procede a realizar la simulación de las deformaciones de la viga superior como puede observarse en la figura 16.

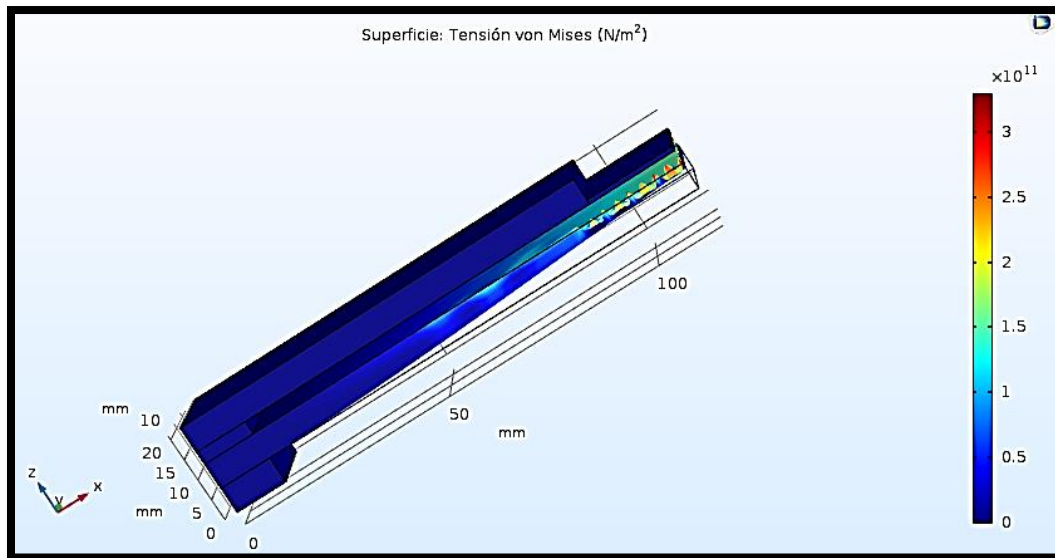


Figura 15. . Simulación de deformaciones de la viga inferior

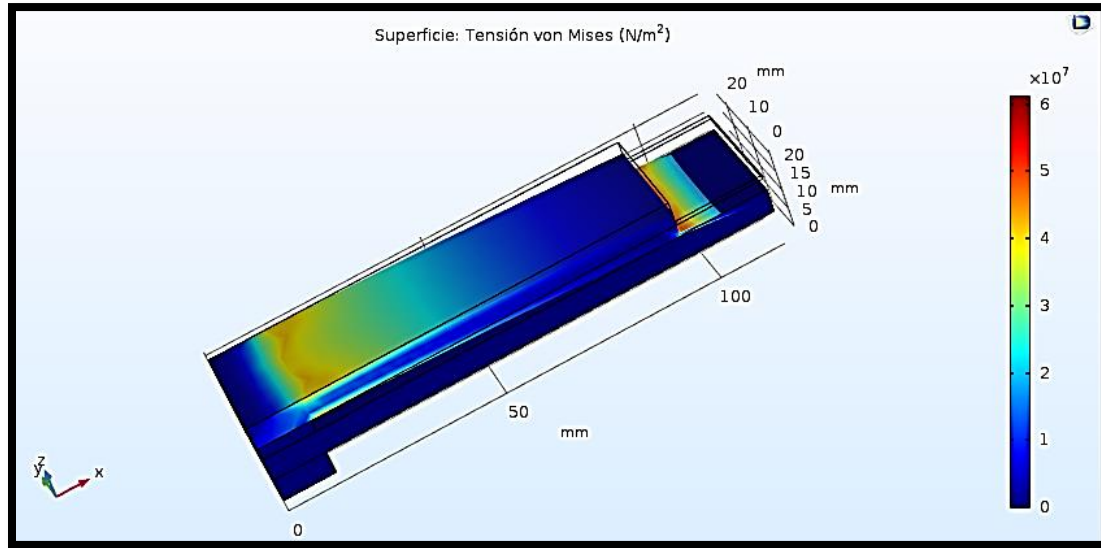


Figura 16. Simulación de deformaciones de la viga superior

3.4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE SIMULACIÓN

Se observan las deformaciones sufridas por la celda de carga al ser expuesta a tres niveles distintos de fuerza correspondientes a la fuerza oclusal promedio de niños, mujeres y hombres. Con base en esto se determina que la máxima deformación sufrida por la viga superior, que es la región de la celda de carga de mayor interés para el sensado del esfuerzo ejercido por el paciente, se presenta en la región cercana al extremo de fijación de la misma; dado que para el modelo de viga en voladizo se utiliza generalmente una galga extensiométrica en la parte superior de la viga y una en la parte inferior de la misma, donde una de las galgas queda expuesta a esfuerzo de compresión y otra a esfuerzo de tensión.

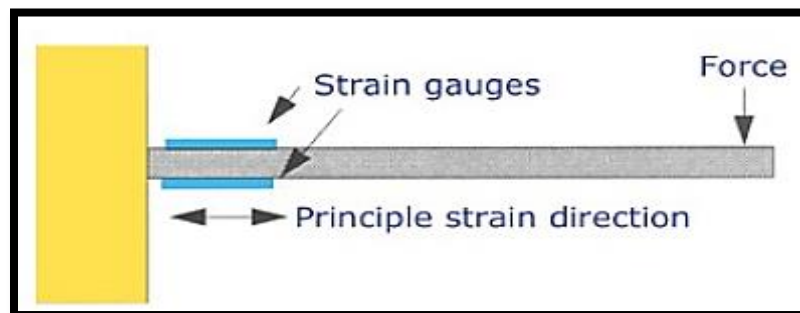


Figura 17. Medición de deformación para vigas en voladizo [48]

Debido a que se debe garantizar la seguridad y salubridad del transductor de deformaciones y puesto que la viga superior se encontraba pre-construida con un canal para la salida de los cables de conexión, se decide colocar la galga en el sector inferior de la mitad de la viga.

3.5 TRANSDUCTOR DE DEFORMACIONES

Se conoce como galga extensiométrica a un transductor que se basa en el efecto piezorresistivo, el cual hace referencia a la capacidad de algunos materiales, ya sean conductores o semiconductores, de variar su resistencia eléctrica al ser sometidos a un esfuerzo o estrés mecánico que los deforma. Por ello, al ser aplicada una galga sobre una superficie, esta responde con una variación de su propia resistencia cuando dicha superficie es sometida a un esfuerzo de compresión o tensión. Los usos de las galgas van desde aplicaciones industriales y sistemas de pesaje automático, hasta aplicaciones biomédicas.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que existen variables que afectan las mediciones realizadas con galgas extensiométricas, como lo son los cambios de temperatura durante las mediciones, los cuales se ven reflejados en resultados poco confiables, ya que puede presentarse dilatación del material y efectos derivados de la resistencia del cable de medición. Para esto, existen métodos de compensación para minimizar los efectos no deseados derivados de la variación de la temperatura. El primero corresponde al uso de galgas extensiométricas con compensación automática y el segundo hace referencia al uso de puentes de Wheatstone, ya sea de puente completo, medio puente o cuarto de puente. El circuito de puente de Wheatstone transforma cambios muy pequeños de resistencia en diferencias de potencial medibles.

Para el diseño de celda de carga implementado, se hará uso de un puente de Wheatstone con conexión de un cuarto de puente como se observa en la figura 18. Esto quiere decir que sólo un brazo del puente variará su resistencia eléctrica con respecto a las deformaciones sufridas por la celda mientras que las resistencias de los brazos restantes del puente se conservarán fijas. La galga extensiométrica a utilizar tiene un valor nominal de $350\ \Omega$ y un factor de galga de 2.00.

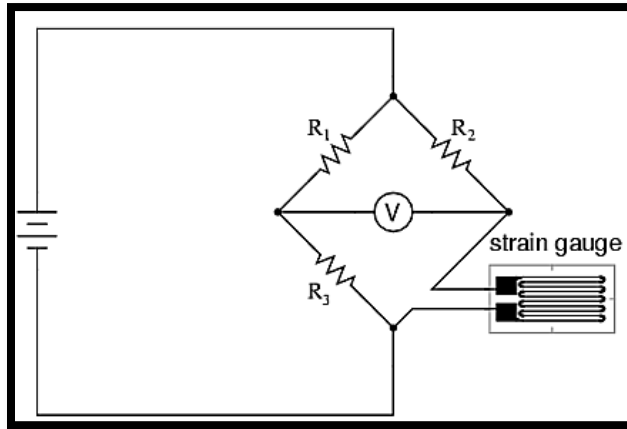


Figura 18. Cuarto de puente de Wheatstone

A continuación, en la figura 19, se enseña el transductor puesto sobre la superficie determinada en la celda de carga, garantizando la seguridad y salubridad del transductor de deformaciones.



Figura 19. Celda de carga en conjunto con la galga extensiométrica

CAPITULO 4: SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE SEÑAL

4.1 INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de implementar un sistema de acondicionamiento y procesamiento que garantice la estabilidad y repetibilidad de la variable de fuerza de mordida, se realiza en primer lugar una revisión de la literatura existente sobre los sistemas de acondicionamiento de señal adecuados para el sistema sensorial implementado. Después de esto, se determina la plataforma programable más adecuada para el sistema de procesamiento de señal, teniendo en cuenta costo y facilidad de uso. También, se desarrolla un programa de tal forma que permite digitalizar la señal para ser posteriormente mostrada a través de una interfaz virtual. Luego, se lleva a cabo la implementación en conjunto del sistema de acondicionamiento y procesamiento de la señal para validar el resultado obtenido. Por último, haciendo uso de un equipo patrón, se realiza la caracterización del sensor.

4.2 ANTECEDENTES

En la literatura existen diferentes acondicionamientos de señal para galgas extensiométricas. En este caso en particular, como se especificó anteriormente, se hace uso de un sistema de puente completo de galgas, la señal de salida que viene este puente es tratada por un circuito diseñado para tal fin, que puede constar de varios bloques.

En el trabajo realizado en el año 2000 en la Universidad del Valle[1], el acondicionamiento de la señal y la visualización de los valores de microdeformaciones se realizó haciendo uso del equipo Strain Indicator P-3500 de Micromasurements como puede observarse en la figura 9. Este equipo es un indicador de tensión, el cual se utiliza en pruebas de análisis de tensión y es usado con transductores basados en extensores. Las mediciones estáticas se muestran directamente en la lectura del display con una resolución de 0,001. El instrumento, acepta entradas del medidor de deformación de puente completo, medio o cuarto de puente e incorpora todos los componentes requeridos de terminación del puente para medidores de 120, 350 y 1000 Ω .

Posteriormente en el año 2008, el trabajo desarrollado por el Grupo de Investigación en bioingeniería CES-EAFIT [10], incorporó como acondicionamiento un circuito de amplificación de la señal de salida del puente de Wheatstone del

gnatodinamómetro, el cual cuenta con una alimentación de 5V y con características de bajo ruido electrónico, además este sistema de amplificación tiene un rango de ganancia entre 100 a 40000. Una vez ha sido amplificada la señal, esta entra a un microcontrolador que cuenta con un conversor A/D de 10 bits.

Más tarde en 2015, en un trabajo realizado en la Escuela Superior Politécnica del Litoral [47], para capturar los pequeños cambios de resistencia de las galgas en un puente de Wheatstone, se diseña un circuito de acondicionamiento que consta de varias etapas, las cuales corresponden al filtrado, amplificación y digitalización de la señal. En primer lugar, la señal pasa por un filtro paso bajo y luego se amplifica la señal mediante un amplificador de instrumentación, ya que cuenta con una alta impedancia a la entrada y una adecuada Relación de Rechazo al Modo Común (CMRR). Una vez amplificada la señal, esta pasa por un filtro Butterworth y es adquirida por un microcontrolador a través de un conversor A/D (análogo/digital) de 10 bits.

4.3 SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE SEÑAL IMPLEMENTADO

Para el sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales, se determina utilizar el módulo HX711 (Figura 29) para el acondicionamiento de la señal obtenida y un Arduino nano (Figura 31) para el procesamiento de la señal que viene de la etapa de acondicionamiento. El módulo HX711 es una interfaz entre el puente de galgas y el microcontrolador que internamente se encarga de la lectura del puente Wheatstone, convirtiendo la lectura analógica a digital con su conversor A/D de precisión de 24 bits[48]. Este módulo es muy utilizado en los procesos industriales, sistemas de medición automatizada y en la industria biomédica.

El multiplexor de entrada del HX711 selecciona la entrada diferencial de canal A o B que va al amplificador de ganancia programable de bajo ruido. La entrada diferencial del canal A se encuentra diseñada de tal manera que se conecte directamente con la salida diferencial del transductor de deformaciones. Debido a que se necesitan grandes ganancias para acomodar la pequeña señal de salida del puente de galgas, se puede programar una ganancia de 128 o 64. Al tener un suministro de 5V en el pin AVDD, dichas ganancias corresponden a una tensión de entrada diferencial a escala completa de $\pm 20\text{mV}$ o $\pm 40\text{mV}$, respectivamente. Por otra parte, la entrada diferencial del canal B cuenta con una ganancia fija de 32, y cuando se alimenta con 5V en el pin AVDD, el rango de voltaje de entrada a escala completa es de $\pm 80\text{mV}$.

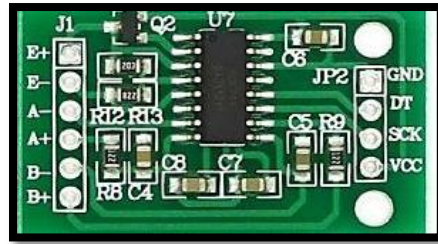


Figura 20. Módulo HX711

En la figura 21 se presenta el diagrama de bloques de una aplicación típica del módulo HX711 en un sistema de medición de peso.

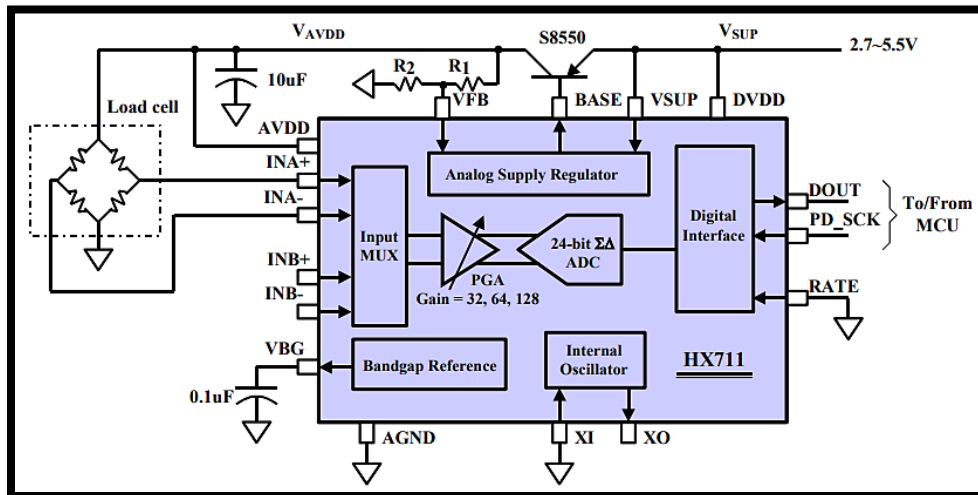


Figura 21. Diagrama de bloques de una típica aplicación para medir peso [50].

El módulo HX711 se comunica de forma serial con un microcontrolador mediante 2 pines, Clock y Data. El microcontrolador a utilizar es el ATmega328 del Arduino nano, ya que no se requiere demasiada capacidad de procesamiento, es de fácil uso, de bajo consumo y con un costo asequible. El microcontrolador ATmega 328 combina una CPU RISC de 8 bits con una memoria flash auto-programable, lo cual lo convierte en una solución altamente flexible y rentable para múltiples aplicaciones. Por medio del lenguaje de Arduino, se programa el microcontrolador ATmega328, de tal manera que, una vez la señal haya sido acondicionada, permita mostrar los valores de fuerza de mordida de los pacientes que se someten al examen de esfuerzos maxilofaciales haciendo uso del gnatodinamómetro.

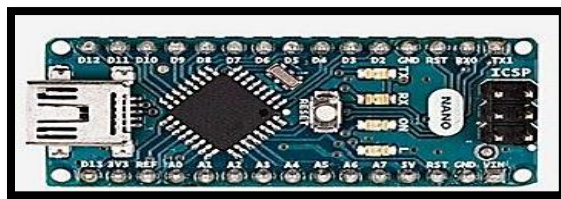


Figura 22. Arduino Nano

Con el objetivo de mostrar el sistema en conjunto, incluyendo la etapa de adquisición, acondicionamiento y procesamiento de señal, se presenta en la figura 23 un esquemático realizado en el software Proteus 8.1. Debido a que la versión que se tiene de Proteus no contiene la librería para Arduino Nano, se hace uso del esquemático de Arduino Uno para ejemplificar el funcionamiento del sistema de adquisición, acondicionamiento y procesamiento de señal.

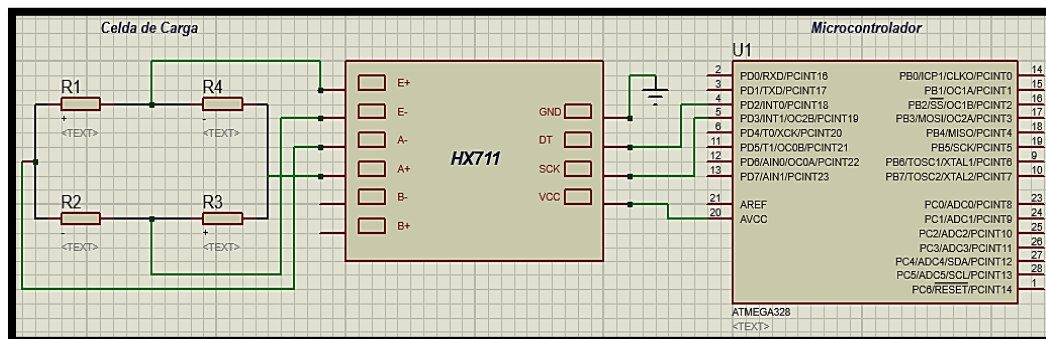


Figura 23. Esquemático del sistema

4.4 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN, ACONDICIONAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE SEÑAL PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR DE ESFUERZOS MAXILOFACIALES

En primer lugar se programó el microcontrolador ATmega 328 del Arduino nano para adquirir los datos debidos a las deformaciones que sufre la celda de carga ante una fuerza aplicada. Teniendo en cuenta los requerimientos del sistema, se realizó el diseño, fabricación y ensamble de la PCB con todos los componentes necesarios para el acondicionamiento y procesamiento de la señal proveniente del gnatodinamómetro. Cabe aclarar que en el diseño del circuito impreso se consideró la posibilidad de falla de cualquiera de los dos puertos que se utilizan se utilizan en el Arduino Nano, como puede observarse en la Figura 24, por ello se incorporó un dipswitch que permite elegir entre cuatro puertos del Arduino para recibir la señal SCK proveniente del módulo HX711 y de igual manera permite la

elección entre otros cuatro puertos del Arduino para recibir la señal DT proveniente del módulo ya mencionado. Por esta razón, se debe tener en cuenta que los puertos en uso de manera física concuerden con los programados en el microcontrolador.

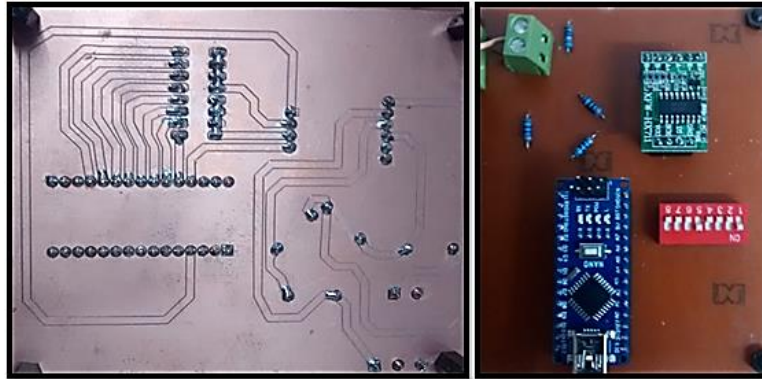


Figura 24. Circuito impreso y montaje de los componentes

Posteriormente se realizó la calibración del sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales haciendo uso de un equipo patrón del Laboratorio de Biomecánica de la Universidad del Valle. Este equipo patrón corresponde a una máquina (prensa) de pruebas dinámicas con una capacidad de fuerza de 2500 N, cuyos componentes son enlistados en la figura 25.

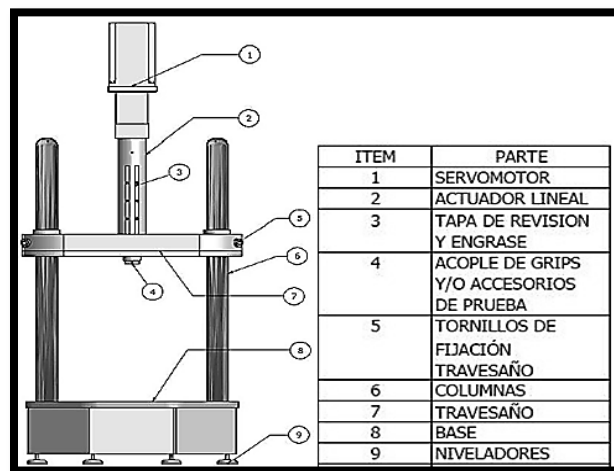


Figura 25. Prensa de pruebas y sus componentes [51]

Haciendo uso de la prensa de pruebas como se enseña en la figura 26, a la celda de carga se le aplicaron diferentes magnitudes de fuerza dentro del rango correspondiente a los posibles valores de fuerza de mordida de un individuo.

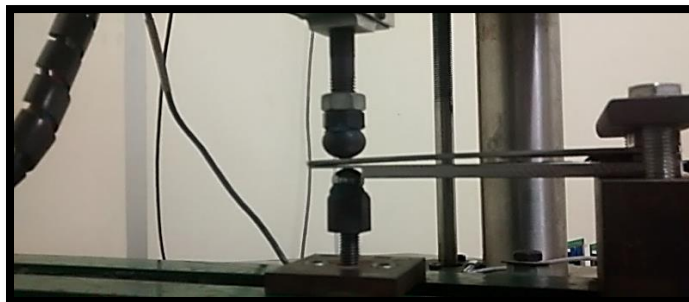


Figura 26. Uso de la prensa en conjunto con la celda de carga

En la siguiente figura, se plasma la relación entre los valores de fuerza aplicados y los medidos haciendo uso de la prensa de pruebas. Debido a que la prueba se hizo realizando control de posición y no de carga, los valores de fuerza aplicados no son igualmente espaciados. Como resultado se obtiene una correlación de 0.9993 entre los datos.

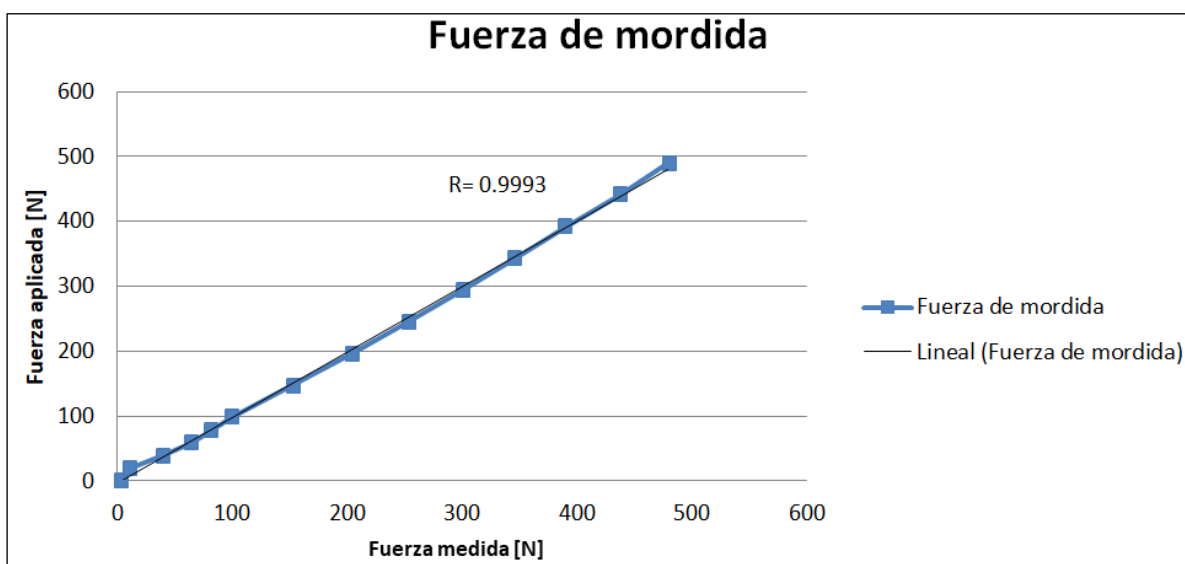


Figura 27. Relación fuerza aplicada vs fuerza medida.

Con base en los resultados obtenidos, se puede determinar que el comportamiento del sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales tiende a ser lineal en un rango de 0- 500 N.

CAPITULO 5: INTERFAZ GRÁFICA Y ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS OBTENIDOS DURANTE EL EXAMEN DE ESFUERZOS MAXILOFACIALES

5.1 INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de desarrollar una interfaz gráfica para presentar y almacenar la información obtenida, se determina que dicha interfaz debe permitir el registro, edición, consulta y borrado de los datos clínicos necesarios de los pacientes que se someterán al examen de esfuerzos maxilofaciales; además cada uno de estos datos serán almacenados en una base de datos. Se debe tener en cuenta que para habilitar la interfaz, la persona encargada de realizar la toma del examen, debe ingresar un usuario y contraseña únicos, en el momento en que se habilita la plataforma principal, se verifica que el usuario, que será sometido al examen de esfuerzos maxilofaciales, se encuentra registrado, de no ser así se debe proceder a realizar el registro. Una vez el paciente se encuentre registrado, la interfaz habilitará la plataforma para la toma del examen y mostrará en pantalla el valor máximo de fuerza de mordida para después almacenar dicho valor en la base de datos. Los datos un paciente incluyendo los resultados de su examen de esfuerzos maxilofaciales, pueden ser descargados en un archivo .xls, si así se requiere.

5.2 DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO

Una interfaz gráfica de usuario o GUI por sus siglas en inglés, permite que a través de un entorno visual sencillo, un usuario interactúe con la aplicación que se ha programado haciendo uso de un conjunto de imágenes y objetos gráficos para así representar tanto la información disponible como las acciones que se pueden ejecutar en la interfaz[49].

Para el sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales, se desarrolló una interfaz gráfica de usuario en lenguaje Java haciendo uso del entorno de desarrollo NetBeans, cabe resaltar que para hacer uso de las sentencias SQL para el manejo de la base de datos, es necesario que el PC dónde se corre la aplicación cuente con una versión de Java mayor a 1.4. Por otro lado, se debe tener en cuenta que cuando se realiza el proceso de desarrollo de un software, en este caso la GUI, éste se debe llevar a cabo teniendo en cuenta el Rational Unified Process (RUP), el cual corresponde a un proceso de desarrollo de software que proporciona un enfoque disciplinado para la asignación de tareas y responsabilidades dentro de una organización de desarrollo. Tiene como objetivo

el garantizar la producción de software con una alta calidad para satisfacer las necesidades de sus usuarios finales[50]. La metodología RUP se compone de cinco ítems los cuales corresponde en primer lugar al modelo de proyecto en donde se hace referencia al alcance del mismo, siguiendo con el cronograma de desarrollo y análisis de recursos. Posteriormente se tiene el análisis de requerimientos para identificar tanto los requerimientos funcionales como los no funcionales del proyecto, obteniendo como resultado la lista de requerimientos y casos de uso real, entre otros. [49]. En los anexos, se adjuntan los requerimientos funcionales, requerimientos no funcionales y los casos de uso real de la aplicación desarrollada.

Se procede a crear una base de datos que soporte los requerimientos de la aplicación. Dicha base de datos se desarrolla con el lenguaje MySQL. Este último corresponde a un sistema de gestión de base de datos relacional de código abierto, basado en lenguaje de consulta estructurado (SQL). Por otra parte, para crear, editar, consultar y gestionar, de forma sencilla, bases de datos en MySQL, existe un servidor independiente de plataforma llamado Xampp, el cual consiste principalmente en la base de datos MySQL, el servidor web Apache y los intérpretes para lenguajes script: PHP y Perl. Se debe tener en cuenta que XAMPP es una compilación de software libre, es gratuita y puede ser copiada libremente de acuerdo a la licencia GNU GPL[51].



Figura 28. Lenguaje MySQL y plataforma XAMMP

Para controlar el manejo de los pacientes a quienes se les realizará el examen de esfuerzos maxilofaciales, se hace uso de una base de datos llamada db_pacientes. En esta base de datos se encuentran 2 tablas, la primera con el nombre de datos_pacientes y la segunda con el nombre de resultados_examen. Existe una relación de uno a muchos entre las dos tablas, ya que a un solo paciente se le puede realizar el examen en repetidas ocasiones. A continuación se presenta la información contenida por cada una de las tablas:

- datos_pacientes: Contiene siete (7) columnas, las cuales corresponden a los datos clínicos necesarios de los pacientes: id, tipo de documento de

identidad, número de documento de identidad, nombres, apellidos, edad y género.

				id	Tipo_doc	Num_doc	Nombres	Apellidos	Edad	Genero
☐	Editar	Copiar	Borrar	8	Cédula de Ciudadanía	66778734	Cielo	Gomez Ballesteros	43	F
☐	Editar	Copiar	Borrar	9	Cédula de Ciudadanía	16283505	Adrian	Arboleda Arenas	47	M
☐	Editar	Copiar	Borrar	10	Cédula de Ciudadanía	1151958562	Carlos Andres	Galvez Calderon	22	M
☐	Editar	Copiar	Borrar	11	Cédula de Ciudadanía	1113675767	Julietth Carolina	Arboleda Gomez	22	F

Figura 29. Tabla datos_pacientes

- Resultados examen: Contiene siete (7) columnas, las cuales corresponden a: id, id_datos_pacientes, fuerza_máxima, fecha_examen, hora_inicio, hora_fin y diagnóstico, en este último, la persona encargada de realizarle el examen al paciente, podrá escribir un diagnóstico referente a los resultados obtenidos.

				id	Datos_Pacientes_id	Fuerza_Maxima	Fecha	Hora_inicio	Hora_fin	Diagnostico
☐	Editar	Copiar	Borrar	10	66778734	392	2017-11-29	17:52:15	17:53:32	Su fuerza de mordida máxima es mayor al promedio d...

Figura 30. Tabla Resultados examen

El acceso a esta base de datos, por parte del usuario de la aplicación, se hace a partir de una aplicación Java, a través de ella, se pueden crear y editar los datos de los pacientes, así como también se pueden crear y modificar los resultados de los exámenes para los pacientes registrados. Como consiguiente, se procede a realizar el análisis de la aplicación, desglosando cada una de las partes que componen la interfaz gráfica de usuario implementada, las cuales corresponden a la ventana de acceso de usuario, registro y consulta de pacientes, edición y borrado de los mismos, además de la plataforma para la toma del examen y por último se presenta la opción de exportar los datos de un paciente en un archivo .xls.

- Acceso de Usuario: El usuario ingresa un nombre de usuario y contraseña únicos, se evalúan si los datos ingresados son correctos, de ser así la aplicación se conecta a la base de datos desarrollada y se permite el ingreso del usuario a la interfaz de manejo de pacientes. En el

caso contrario, se niega el acceso, informando al usuario que el nombre o contraseña ingresados son erróneos.

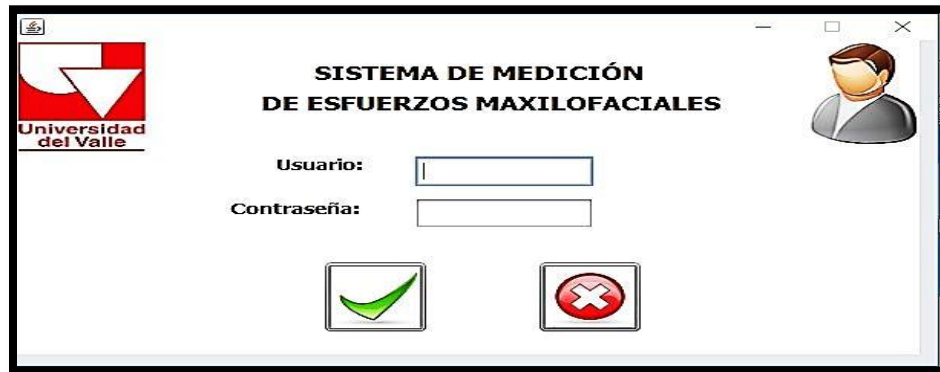


Figura 31. Ingreso al sistema

A continuación se muestra la ventana principal de la aplicación, la cual se habilita al ingresar correctamente usuario y contraseña.



Figura 32. Ventana principal de la GUI

- Registro de Pacientes: En el momento en que el usuario ingresa de manera correcta a la aplicación, en la esquina superior izquierda existe un menú desplegable con el nombre Pacientes, donde se permite elegir la

opción de Registro, y al seleccionarla se habilita una ventana para registrar un nuevo paciente en la base de datos.



Figura 33. Menú de opciones referente a los pacientes

En dicha ventana el usuario podrá ingresar todos los datos clínicos requeridos de un paciente para que sea registrado. Con el ánimo de proteger la base de datos, si no se realiza una descripción correcta de los datos de los pacientes, existe una restricción para los datos a registrar. Por ello, sólo se pueden ingresar números en el campo de “Número de documento” y en el campo de “Edad”, de igual modo sólo podrán ser ingresados caracteres alfabéticos en los campos de “Nombres” y “Apellidos”. Además de esto, todos los campos deben ser diligenciados, de no ser así la interfaz notificará al usuario que no debe dejar campos en blanco.

Figura 34. Ventana de registro de paciente.

- Consulta de pacientes: Si en el menú mostrado en la figura 35 se elige la opción de Consulta, ingresando el tipo y número de documento de identidad, se puede consultar todos los datos referentes a un paciente, y serán mostrados en una tabla en pantalla.



Figura 35. Ventana de Consulta de pacientes

- Edición de pacientes: Si en el menú que se muestra en la figura 35 se selecciona la opción de Edición, ingresando el tipo y número de documento de identidad, se pueden editar todos los datos clínicos referentes a un paciente, esta acción también cuenta con las restricciones presentadas en el ítem de Registro de Pacientes. Al ingresar tanto el tipo de documento como el número del mismo y al dar click en el botón editar, si el paciente se encuentra registrado, el sistema se comunica con la base de datos, toma los datos clínicos restantes y los imprime en pantalla.

EDICIÓN DE PACIENTES

Ingrese el tipo y número de documento de identidad del paciente a editar

Tipo de Doc. Identidad: Cédula de Ciudadanía

Número de Doc. Identidad:

Nombres: Edad:

Apellidos: Género: ☒ M ☐ F

Universidad del Valle

Figura 36. Ventana de edición de pacientes

- Borrado de Pacientes: Si se elige la opción borrar en el menú desplegado, como puede observarse en la figura 35, ingresando el tipo y número de documento de identidad, se pueden eliminar todos los datos clínicos referentes al paciente en cuestión que se encuentran registrados en la base de datos.

BORRAR PACIENTE

Ingrese tipo y número de documento de identidad del paciente que desea borrar

Tipo. Documento Cédula de Ciudadanía

Número Documento

Universidad del Valle

Figura 37. Ventana de borrado de pacientes

- Ingreso a la Plataforma para la Toma del Examen: Para realizar el examen de esfuerzos maxilofaciales, en primer lugar se ingresan el tipo y número de documento. Al hacer esto y dar click en el botón OK, si el paciente se encuentra registrado, el sistema se comunica con la base de datos y toma los nombres y apellidos para imprimirlos en pantalla. Una vez se realiza lo anterior, la interfaz gráfica habilita el botón para la toma del examen.

Figura 38. Validación del paciente para ingresar a la plataforma de toma del examen.

- Toma de Examen: Al dar click en el botón “Iniciar Examen”, se despliega una ventana en donde se graficará la curva de fuerza de mordida del paciente con respecto al tiempo. Una vez finalizada la toma de los datos, se muestra la Fuerza máxima de mordida del paciente en unidades de Newtons (N). También, existe un campo habilitado en donde el encargado de realizar el examen, puede ingresar un diagnóstico con base en los datos obtenidos si así lo requiere. Estos datos, serán almacenados en la base de datos.

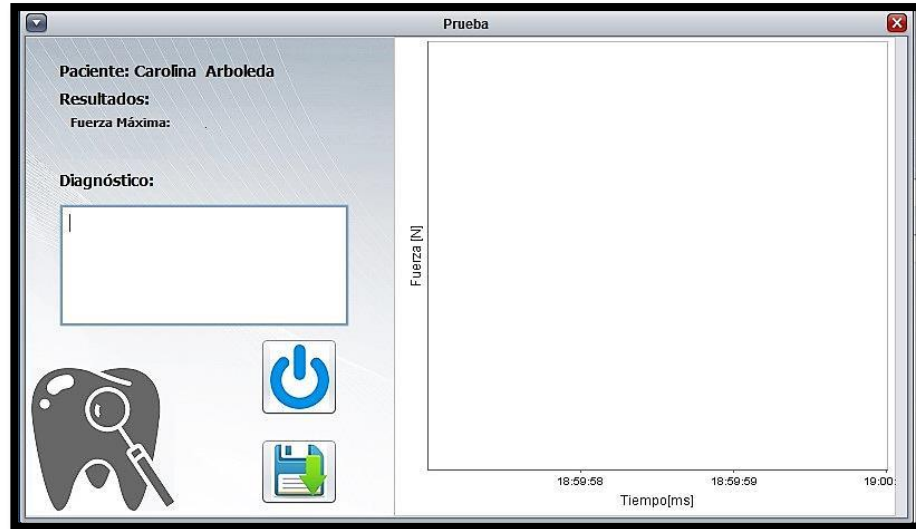


Figura 39. Plataforma para la toma del examen de esfuerzos maxilofaciales.

- **Exportar Información:** En la esquina superior izquierda de la ventana principal, existe un menú desplegable con el nombre Archivo, y ofrece la opción de seleccionar Exportar. Dicha acción, despliega una ventana en dónde se ingresa el tipo y número de documento de identidad para proceder con la exportación de los datos de determinado paciente en un formato .xls.



Figura 40. Menú desplegable para la exportación del archivo .xls

Por último, como resultado se obtiene un sistema confiable, el cual permite que la persona a cargo de realizar el examen de esfuerzos maxilofaciales a un grupo de pacientes, tenga la posibilidad de conocer los valores de fuerza de mordida de dichos pacientes de forma sencilla y con la facultad de comparar resultados de un mismo paciente en momentos distintos del tiempo.

CAPITULO 6: CREACIÓN DE PROTOCOLO DE EVALUACIÓN PARA LA MEDIDA DE LA FUERZA MÁXIMA DE MORDIDA HACIENDO USO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ESFUERZOS MAXILOFACIALES

6.1 INTRODUCCIÓN

Con el ánimo de crear un protocolo de evaluación o procedimiento técnico para realizar el examen de esfuerzos maxilofaciales, se definen una serie de factores y puntos a tener en cuenta durante la toma de dicho examen. Por otra parte, se debe considerar que el valor obtenido de fuerza de mordida tiene una incertidumbre asociada. La incertidumbre de un instrumento de indicación digital, corresponde al intervalo en donde puede encontrarse la medida. Una vez determinada la incertidumbre asociada, en conjunto con un profesional de la salud capacitado, se validará funcionalmente el sistema.

6.2 PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA EL USO DEL GNATODINAMÓMETRO

- EQUIPO E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS.

- Celda de carga (Gnatodinamómetro)
- Integrado HX711
- Arduino Nano
- PC con versión de JAVA mayor a 1.4.

- OBJETIVO

Dar a conocer la sistemática necesaria para realizar la toma de exámenes de terapia miofuncional haciendo uso de un sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales.

- ALCANCE

El método descrito en este procedimiento aplica para la toma del examen de esfuerzos maxilofaciales de un paciente, realizada por un profesional de la salud o a quien le interese, obteniendo resultados de fuerza máxima de mordida en magnitudes de Newtons.

- PRINCIPIO DE MEDIDA EN EL QUE SE BASA EL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ESFUERZOS MAXILOFACIALES.

El funcionamiento del sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales, se basa fundamentalmente en el efecto piezorresistivo que permite medir las microdeformaciones de una celda de carga cuando es sometida a una fuerza que la deforma. Además, gracias a un sistema de acondicionamiento y procesamiento de señal, se transforma la deformación sufrida por la celda de carga (gnatodinamómetro) en valores de fuerza máxima de mordida de un individuo.

- CAMPO DE APLICACIÓN

Este procedimiento es aplicable para PC con una versión de JAVA mínima de 1.4 para que soporte la interfaz gráfica del sistema de mediciones de esfuerzos maxilofaciales.

- CONDICIONES PREVIAS A LA TOMA DEL EXAMEN

Antes de iniciar la toma del examen, deben ser considerados los siguientes aspectos:

- Verificar el estado, la seguridad y el funcionamiento del sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales.
- Verificar que el PC en dónde correrá la aplicación que soporta el sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales, cuente con una versión de JAVA de 1.4 o mayor.

- PROCEDIMIENTO DE TOMA DEL EXAMEN.

Para hacer uso del sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales, se determina una guía de aplicación. Se tiene en cuenta que para el correcto uso del sistema, este se debe conectar al PC que contiene la aplicación en JAVA, a través del puerto USB. Una vez hecho esto, se procede a correr la aplicación.

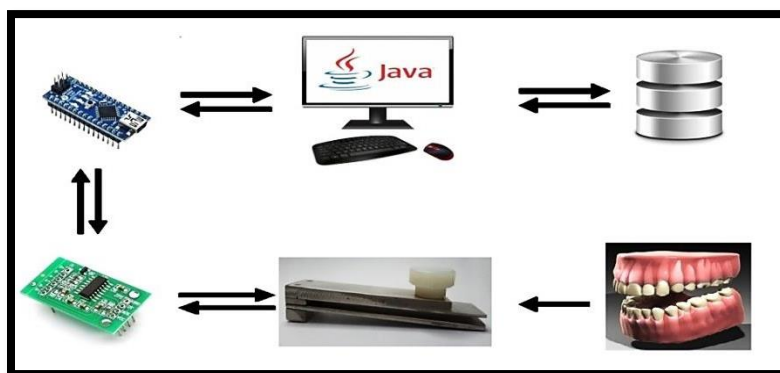


Figura 41. Esquema del sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales

- SECUENCIA DE MEDICIÓN

1. Una vez se corre la aplicación, se debe autenticar el usuario. El nombre de usuario autorizado corresponde a univalle, y la contraseña es 1234.
2. Se verifica que el paciente, al que se le va a realizar el examen de esfuerzos maxilofaciales, se encuentra registrado en la base de datos. Para ello, se ingresa el tipo y número de documento de identidad.
3. Si el paciente se encuentra registrado, se imprime en pantalla sus nombres y apellidos y se habilita el botón para la toma del examen.
4. Si el paciente no se encuentra registrado, se procederá a registrarlo, desplegando la ventana Registro haciendo click en el menú Pacientes, que se encuentra en la parte superior izquierda de la plataforma. Una vez registrado, se procede a repetir lo especificado en el ítem 2.
5. Una vez hecho esto se procede a poner en marcha la aplicación. Se solicita al paciente que muerda con toda su fuerza.
6. La aplicación mostrará en pantalla la curva de relación entre fuerza y mordida. Se imprime el valor máximo de fuerza de mordida obtenido, además existe la posibilidad de describir un diagnóstico.
7. El examen puede ser repetido o los resultados obtenidos pueden ser almacenados en la base de datos.

Una vez finalizado la toma del examen, el sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales, cuenta con la posibilidad de exportar todos los datos correspondientes, incluyendo los resultados de los exámenes realizados previamente, de un paciente en específico en un archivo con formato .xls.

- ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DEBIDA AL COVERSOR ANÁLOGO DIGITAL DE LOS DISPOSITIVOS DE ACONDICIONAMIENTO Y PROCESAMIENTO

A continuación, se expone una guía para la aplicación práctica del cálculo de la incertidumbre de medida debida al conversor análogo digital de los dispositivos de acondicionamiento y procesamiento de señal.

1. Se expresa en términos matemáticos, la dependencia que existe entre el mesurando o magnitud de salida, con respecto a la magnitud de entrada, que en este caso hace referencia a la fuerza al que es sometido el sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales.
2. Se hace una lista con las posibles fuentes de incertidumbre en forma de análisis de la misma.
3. Se realiza el cálculo de la incertidumbre típica $u(q)$ de cada una de las fuentes de incertidumbre.
4. Se calcula la incertidumbre expandida U multiplicando la incertidumbre típica $U(y)$ asociada a la estimación de salida por un factor de cobertura elegido.
5. Se expresa el resultado de la medición incluyendo el valor estimado y del mensurando, la incertidumbre expandida asociada U .

Para el cálculo de la incertidumbre asociada al sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales, se utilizó como base teórica la guía GUM para estimación de incertidumbres.

6.3. ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ESFUERZOS MAXILOFACIALES DEBIDA AL ADC DE LOS DISPOSITIVOS DE ACONDICIONAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE SEÑAL

De acuerdo a la definición de la guía GUM, la incertidumbre corresponde al *parámetro asociado al resultado de una medida que caracteriza la dispersión de los valores que razonablemente pueden ser atribuidos a mesurando* [52]. Si no se indica la incertidumbre asociada a una medida, las mediciones obtenidas no pueden ser comparadas entre sí, ni con valores de referencia, por ello es necesario que para su determinación se utilicen procedimientos fiables y representativos.

De acuerdo con la GUM, la incertidumbre se agrupa en dos categorías, tipo A y tipo B, según el método de evaluación. La primera se calcula mediante la aplicación de procedimientos estadísticos al conjunto de medidas realizadas y la evaluación de la segunda se utiliza cuando la estimación de la medida de una magnitud no ha sido obtenida a partir de observaciones repetidas.

Cabe aclarar que algunos casos de cálculo de incertidumbre tipo B corresponden a un instrumento calibrado, la resolución del equipo, rango de una magnitud, histéresis del instrumento y verificación de un instrumento. Para este caso particular se calculará la incertidumbre asociada teniendo en cuenta la resolución del sistema de acondicionamiento y procesamiento de señal. Si se conoce la resolución del equipo con que se mide el mesurando x_i [53], la incertidumbre típica de x_i es :

$$u(x_i) = \frac{\text{resolución del equipo}}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

En primer lugar se procede a calcular la resolución del sistema de acondicionamiento HX711 y del microcontrolador ATmega328 del Arduino nano. El HX711 cuenta con un conversor A/D de 24 bits y un rango de entrada diferencial de full escala de ± 0.5 V (1 V de span) [48]. Por otro lado, el ATmega328 cuenta con 10 bits de resolución y un rango de 0 a 5 V de entrada.

En un ADC, la resolución puede expresarse de dos maneras. La primera corresponde a la relación entre la señal máxima medida y la parte más pequeña que puede ser resuelta. La segunda expresión para resolución la define como el mínimo cambio que puede ser detectado, relacionando el número de bits de resolución con las medidas de voltaje reales. Se determina la resolución del sistema de acondicionamiento y de procesamiento de señal en términos de voltaje.

Para el HX711 se obtiene que

$$\text{resolución} = 1/2^{24} = 5,96046 \times 10^{-8} \quad (2)$$

$$u(x_1) = 3,44127 \times 10^{-8} \quad (3)$$

Para el ATmega328 del Arduino Nano se tiene como resultado lo siguiente:

$$\text{resolución} = 5/2^{10} = 4,88281 \times 10^{-3}$$

$$u(x_2) = 2,81909 \times 10^{-3}$$

De acuerdo con la GUM, para determinar la incertidumbre asociada a al resultado de una medida, primero se debe describir el proceso de medida por un modelo matemático que relaciones valor estimado y de la variable a medir Y con la estimaciones $x_1, x_2, \dots, x_n$ de las diferentes magnitudes que intervienen en el proceso[52].

Cómo se tienen magnitudes independientes, cada una con una incertidumbre típica asociada, la ley de propagación de la incertidumbre permite calcular la incertidumbre típica combinada, como se muestra a continuación:

$$u_c(y) = \sqrt{u^2(x_1) + u^2(x_2)} \quad (6)$$

$$u_c(y) = 2,819093 \times 10^{-3}$$

Una vez se tiene la incertidumbre expandida o global U , que se obtiene al multiplicar la incertidumbre típica combinada $u_c(y)$ por el factor de cobertura k . El factor de cobertura está relacionado con el nivel de confianza p deseado en la medida y se obtiene conociendo detalladamente la distribución de probabilidad del resultado de medida. En la mayor parte de los procesos de medición la distribución que describe mejor lo observado es la distribución normal. Para una distribución normal de la magnitud de medida, el factor de cobertura y el nivel de confianza se especifican a continuación. En general, k toma un valor entre 2 y 3.

Nivel de confianza p (%)	68,27	90	95	95,45	99	99,73
Factor de cobertura k	1	1,645	1,96	2	2,576	3

Tabla 2 Factor de cobertura k y nivel de confianza correspondiente p . [53]

Con un valor de $k = 2$, se calcula la incertidumbre expandida.

$$U = k * u_c(y) \quad (7)$$

$$U = k * u_c(y)$$

$$U = 5,64 \times 10^{-3}$$

CAPÍTULO 7: RESULTADOS

Se hizo una caracterización genérica del sistema muscular bucal, tomando como base las investigaciones realizadas por profesionales e investigadores del campo de la fisiología oral [4], [5], [24]. Este barrido bibliográfico trajo como resultado la recopilación de información pertinente que llevó a la implementación del sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional. Cabe resaltar que en la literatura presente [1], [10] se usan diversos métodos para la medición de fuerza de mordida y esto, sumado a la existencia de distintos factores que afectan las mediciones de dicha variable, desencadena en que múltiples investigadores del área hayan encontrado un amplio intervalo de valores de fuerza de mordida máxima, discriminando entre géneros y rangos de edad. Sin embargo, existe una concordancia entre distintos autores en que la mayor fuerza de mordida se realiza en la región de los molares. Teniendo en cuenta este punto de referencia, se definen las condiciones del sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales para medir el máximo valor de fuerza de mordida en la región del primer molar derecho. De igual manera se tuvo en cuenta los valores promedios de la fuerza máxima de mordida para niños, mujeres adultas y hombres adultos de acuerdo a la revisión del trabajo realizado en la Universidad del Valle en el año 2000 [1] y un estudio realizado en 1994 con ciudadanos colombianos[38]. Dichos valores corresponden a 369 N, 383.6 N y 545.7 N respectivamente.

Una vez caracterizado de manera general el sistema muscular bucal, se definió el diseño de celda de carga a implementar, para realizar la medición de esfuerzos maxilofaciales, dicho diseño corresponde a dos vigas en voladizo unidas en uno de sus extremos como se explica en el capítulo 3 del documento. En primer lugar, el diseño es realizado en el software AutoCAD en donde se muestran las vistas isométricas de la celda de carga. Una vez se tienen definidas las dimensiones, con el fin de establecer la región en la que se presenta la mayor deformación se procede a realizar la construcción de la celda de carga en el Software COMSOL y en consiguiente se realiza la simulación de la deformación sufrida por la celda de carga al ser sometida a los valores de fuerza máxima de mordida de un niño, una mujer adulta y un hombre adulto, los cuales son mencionados en el párrafo anterior. Se obtiene como resultado que la zona que presenta la mayor deformación, corresponde a la región cercana al extremo de fijación de la viga superior. Por ello, se determina que el transductor o transductores de deformaciones (galgas extensiométricas) deben ser aplicados en dicha región, además con el ánimo de buscar la protección y salubridad de los mismos se define que será aplicado solo un transductor en la parte inferior de la viga superior.

Como consecuencia de lo anterior, se implementó la configuración de puente de Wheatstone en conexión de cuarto de puente. El voltaje diferencial que se obtiene a la salida del puente ingresa al sistema de acondicionamiento que corresponde al módulo HX711 y las señales de salida de dicho módulo son procesadas en el microcontrolador ATmega328 del Arduino Nano, este último se encarga de enviar la información de manera serial al PC. Los sistemas de acondicionamiento y procesamiento de señal utilizados se eligieron teniendo en cuenta la facilidad de uso de los mismos. Se implementó en conjunto el sistema de acondicionamiento y procesamiento de señal con la celda de carga con el objetivo de caracterizar el sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales haciendo uso de un equipo patrón del Laboratorio de Biomecánica de la Universidad del Valle. Se obtuvo como resultado una correlación entre los datos de 0.9993, determinando que el sistema de medición tiene un comportamiento que tiende a ser lineal en un rango de 0-500N. Todo lo referente al sistema de acondicionamiento, procesamiento de señal y caracterización del sistema de medición, se explica en el capítulo 4 del documento.

La señal que el PC recibe por el puerto serial, proveniente de la etapa de acondicionamiento y procesamiento, es mostrada a través de una interfaz gráfica desarrollada en lenguaje JAVA. Dicha interfaz utiliza sentencias en lenguaje MySQL para conectarse a una base de datos con los requerimientos propios de la aplicación. La interfaz permite presentar en pantalla y almacenar en la base de datos, los datos clínicos de los pacientes que se someterán al examen de medición de esfuerzos maxilofaciales y los resultados obtenidos en dichos exámenes. En el capítulo 5 se encuentra explicado todo lo referente al desarrollo y manejo de la interfaz gráfica y de la base de datos.

Por otra parte, se estableció un protocolo de evaluación o procedimiento técnico para el uso del sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales. Este protocolo de evaluación cuenta con una secuencia algorítmica que permite usar correctamente el sistema; además se realizó el proceso de estimación de la incertidumbre de medición debida a los conversores Análogo/Digital utilizados en la etapa de acondicionamiento y procesamiento de señal. Los resultados son expuestos en el capítulo 6 del documento.

Una vez es puesto en marcha en Sistema completo de medición de esfuerzos maxilofaciales, es necesario validar el sistema, esto se realiza en conjunto con un profesional de la salud capacitado.

7.1 VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ESFUERZOS MAXILOFACIALES

Siguiendo el protocolo de evaluación o procedimiento técnico creado en el capítulo 6 específicamente en la sección 6.2, se lleva a cabo la validación funcional del sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional. Esta validación se hizo en conjunto con un profesional de la salud, quien certificó el correcto funcionamiento del sistema y afirmó que dicho sistema puede ser usado en clínica. La carta de validación firmada por el profesional de la salud se adjunta en la sección 1 de los Anexos.

Con el fin de comprobar la correcta funcionalidad del sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales, se presenta gráficamente cada una de las etapas de uso de la aplicación.

- ✓ Ingreso con usuario válido para hacer uso de la interfaz.



Figura 42. Ingreso con usuario válido a la aplicación

- ✓ Habilitación de la aplicación para la medición de esfuerzos maxilofaciales.

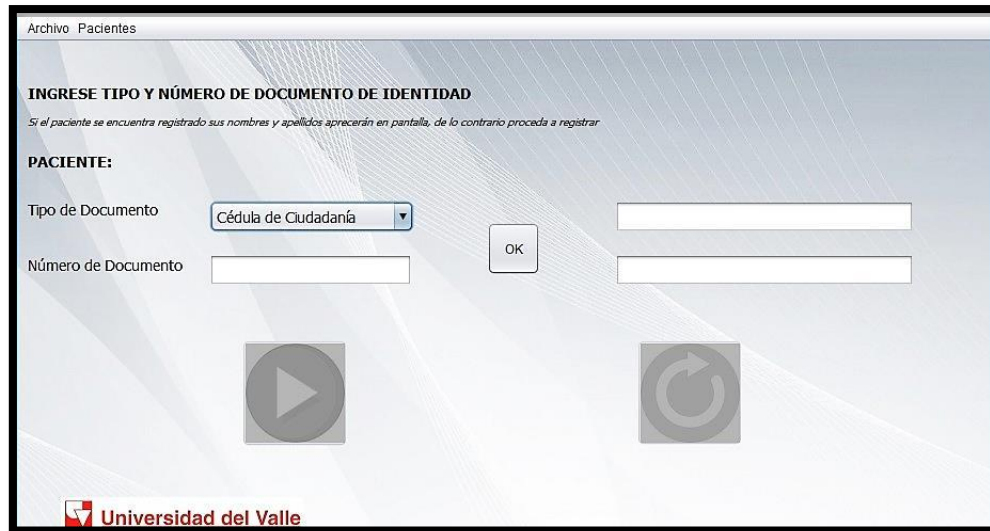


Figura 43. Ventana principal de la aplicación

- ✓ En la pestaña pacientes, se selecciona Registro y se procede a registrar al nuevo paciente.

Figura 44. Registro de nuevo paciente

- ✓ Una vez registrado el paciente, en la ventana principal, se ingresa el tipo y número de documento del mismo y se habilita el botón para la toma del examen.

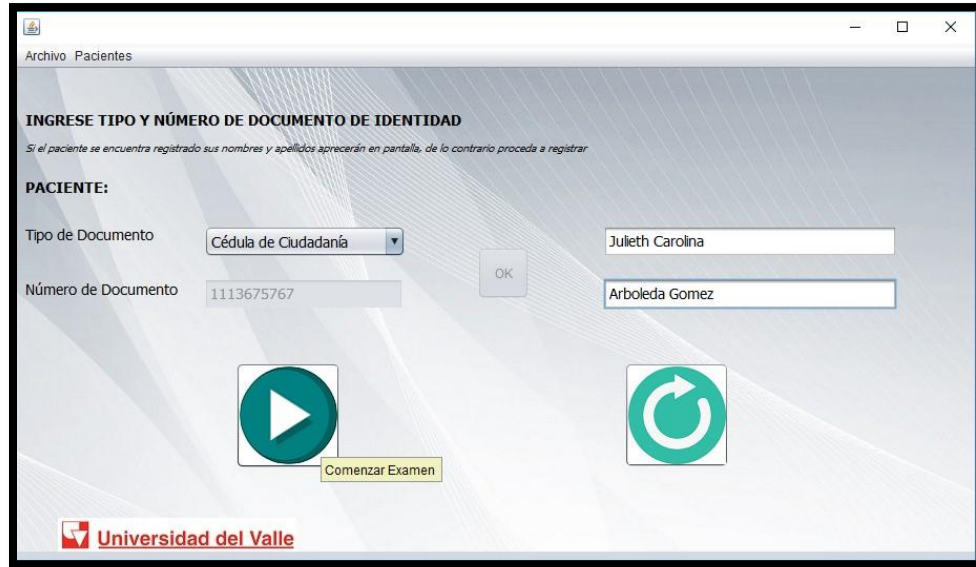


Figura 45. Habilitación del botón de toma de examen en la ventana principal de la aplicación

- ✓ Una vez se ha dado click en el botón comenzar examen mostrado en la imagen anterior, se habilita la ventana para la toma del examen de esfuerzos maxilofaciales.

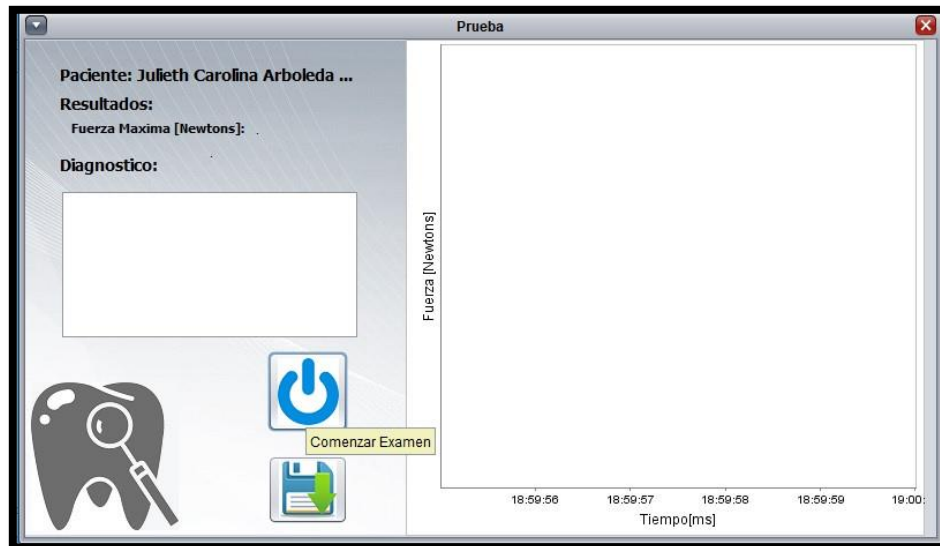


Figura 46. Ventana para la toma del examen

- ✓ En el momento en que se da comenzar examen, el paciente muerde con toda su fuerza y el sistema adquiere los datos de fuerza de mordida por un intervalo de cuatro (4) segundos. Estos datos son graficados en un plano de Fuerza [Newtons] vs Tiempo[s]. Cabe resaltar que en el eje del tiempo, el sistema muestra en pantalla la hora actual en formato HH:MM:SS y para graficar la curva en un intervalo de cuatro segundos, se va incrementando de 1 en 1 los segundos, conservando el mismo formato. Una vez la captura de los datos es concluida, se imprime el valor máximo de fuerza de mordida en la sección Resultados: Fuerza Máxima [Newtons] y si así lo desee la persona encargada de realizar el examen, ingresa un diagnóstico de acuerdo a los resultados obtenidos. Por último se procede a guardar los resultados en la base de datos, dando click en el botón guardar.

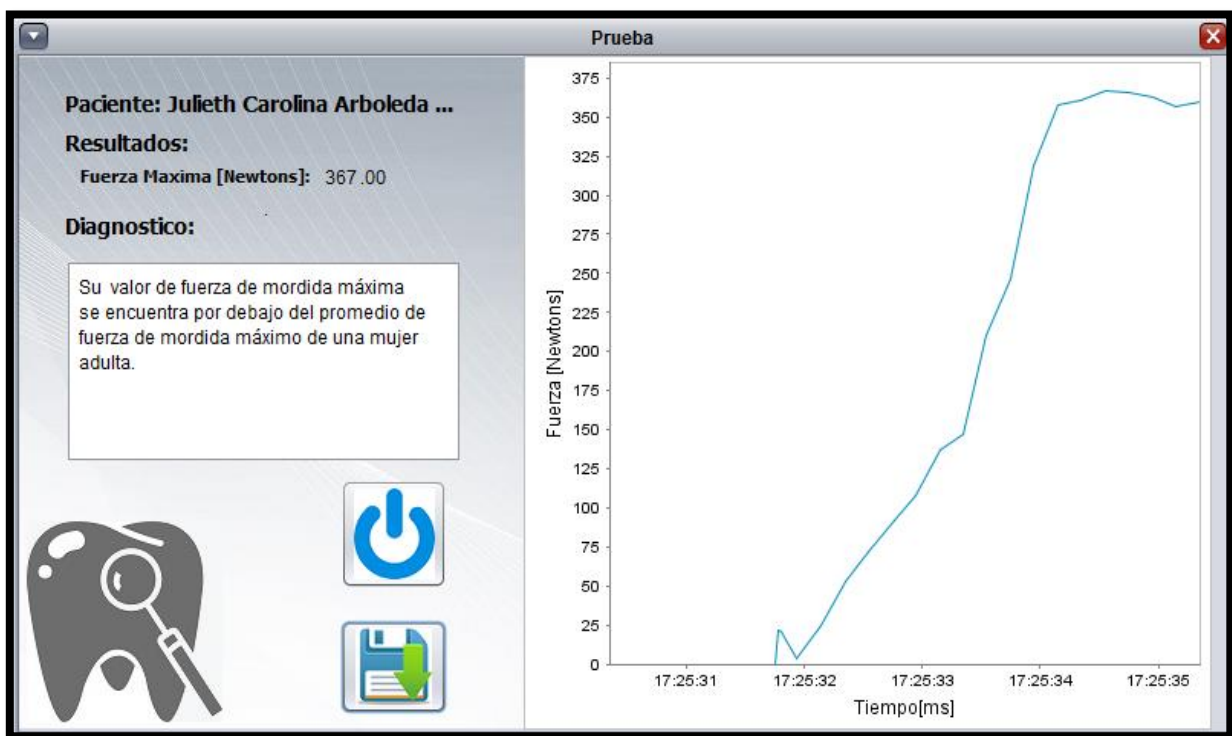


Figura 47. Resultado del examen de esfuerzos maxilofaciales de un paciente

- ✓ Una vez almacenados los resultados en la base de datos, en la ventana principal, en la pestaña Pacientes, si se desea visualizar los datos de los pacientes junto con los resultados de sus exámenes, se da click en Consulta y allí se ingresa el tipo y número de documento del paciente que se desea consultar.

CONSULTAR PACIENTES

Ingrese tipo y número de documento de identidad del paciente que desea consultar

Tipo de Doc. Identidad: Cédula de Ciudadanía Número de Doc. Identidad: 1113675767

Id	Tipo de ...	Númer...	Nombres	Apellidos	Edad	Género	Fuerza ...	Fecha d...	Hora d...	Hora de...	Diagnó...
11	Cédula ...	111367...	Julieth ...	Arboled...	22	F	367.00	2017-1...	17:25:32	17:26:52	Su valo...

 **Universidad del Valle**

Figura 48. Consulta de los datos y resultados del examen de esfuerzos maxilofaciales de un paciente.

- ✓ En la pestaña Pacientes de la ventana principal, se encuentra también la opción de Editar. Se ingresa el tipo y número de documento de identidad y se editan los datos del paciente si así se requiere.

EDICIÓN DE PACIENTES
Ingrese el tipo y número de documento de identidad del paciente a editar

Tipo de Doc. Identidad:

Número de Doc. Identidad:

Nombres: Edad:

Apellidos: Género: ☐ M ☒ F

Universidad del Valle

Figura 49. Edición de los datos de un paciente ya registrado.

Si se desea editar otro paciente, en la misma ventana se da click en el botón editar nuevo paciente y se realiza de nuevo la búsqueda de dicho paciente y se edita.

EDICIÓN DE PACIENTES
Ingrese el tipo y número de documento de identidad del paciente a editar

Tipo de Doc. Identidad:

Número de Doc. Identidad:

Nombres: Edad:

Apellidos: Género: ☐ M ☒ F

Universidad del Valle

Figura 50. Edición de otro paciente después de haber editado un primer paciente.

- ✓ Para exportar los datos y resultados de exámenes de un paciente en particular, en la ventana principal específicamente en la pestaña archivo, se da click en exportar , se ingresa el número de documento y se puede elegir el nombre y ubicación del archivo a guardar.



Figura 51. Secuencia de exportación de los datos de un paciente en formato.xls

Al exportar los datos, se obtiene un archivo en .xls con la siguiente estructura

Resultado_Paciente_1113675767_JuliethArboleda [Modo]						
ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA DESARROLLADOR						
Pegar Portapapeles Arial 10 A⁺ A⁻ N K S Ajustar texto Combinar y centrar General \$ % 000 ←0 →0 Forma condición						
H22						
	A	B	C	D	E	F
1	Datos del paciente					
2	Nombre:	Julieth Carolina				
3	Apellido:	Arboleda Gomez				
4	Edad:	22				
5	Genero:	F				
6	Tipo de documento:	Cédula de Ciudadanía				
7	Numero de documento:	1113675767				
8						
9	Fecha:	Fuerza de mordida (Newton):	Hora inicio:	Hora fin:	Diagnóstico:	
10	09/11/2017	367	17:25:32	17:26:52	Su valor de fuerza de mordida máxima se encuentra por debajo del promedio de fuerza de mordida máximo de una mujer adulta.	
11						

Figura 52. Archivo exportado con los datos y resultados de los exámenes de un paciente en específico

- ✓ Si lo que se desea es eliminar el paciente registrado, se procede a abrir la ventana Borrar y realizar el borrado del mismo.



Figura 53. Borrar paciente de la base de datos.

- ✓ Verificación del borrado del paciente de la base de datos.

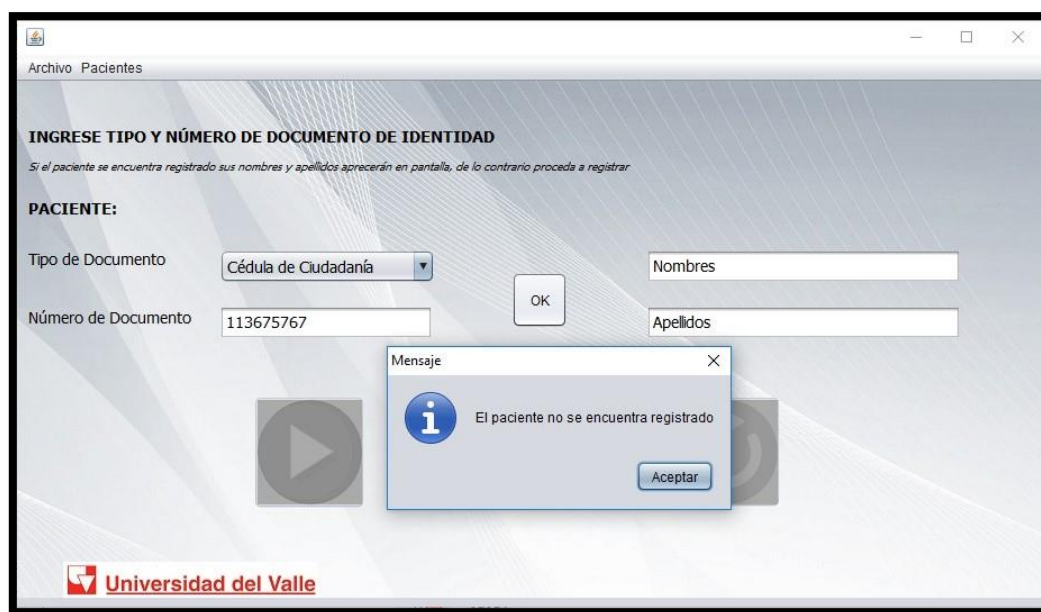


Figura 54. Verificación del correcto borrado de los datos de un paciente

Una vez implementadas todas las etapas que componen el desarrollo del sistema de mediciones maxilofaciales, se realizó la toma del examen para una muestra de 10 personas entre niños, mujeres adultas y hombres adultos.

Nº	Tipo de documento	Número de documento	Nombres	Apellidos	Edad	Género	Fuerza máxima de mordida [Newtons]
1	Cédula de Ciudadanía	66778734	Cielo	Gómez Ballesteros	43	F	321.32
2	Cédula de Ciudadanía	16283505	Adrian	Arboleda Arenas	48	M	434.51
3	Cédula de Ciudadanía	1113535464	Miguel Ángel	Gonzalez Gonzalez	21	M	423.37
4	Cédula de Ciudadanía	1151958562	Carlos Andrés	Galvez Calderón	22	M	387.53
5	Tarjeta de Identidad	1114544206	Ángel Santiago	Gómez Calero	9	M	242.07
6	Registro Civil	1114548465	Juan David	Gómez Calero	4	M	168.92
7	Cédula de Ciudadanía	29781194	Rosalbina	Arenas Suarez	78	F	363.54
8	Cédula de Ciudadanía	6444038	Libardo	Arboleda Lorza	81	M	298.24
9	Cédula de Ciudadanía	66767368	Francy	Gomez Ballesteros	46	F	405.12
10	Cédula de Ciudadanía	1143936152	John Jairo	Ríos Hernández	26	M	481.10

Tabla 3. Resultados de exámenes de esfuerzos maxilofaciales en una muestra de 10 personas.

Al observar los resultados de los exámenes realizados a la muestra de 10 personas, es correcto determinar que guardan relación con los valores de fuerza máxima de mordida registrados en las investigaciones referenciadas en el capítulo 2 de este documento.

CAPÍTULO 8: TRABAJOS FUTUROS

En este apartado, se proponen algunos trabajos adicionales buscando mejorar la funcionalidad del sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional. Dichas propuestas son enumeradas a continuación.

8.1 ADECUACIÓN DE LA MEDICIÓN DE DEFORMACIONES Y ADICIÓN DE PIEZAS PARA LA MEDICIÓN DE LA FUERZA DE LOS MÚSCULOS MASETEROS Y DE LA LENGUA

En el diseño de la celda de carga construida en este trabajo, se incluyó un sistema de tornillo en la viga superior. Esto se realizó con el objetivo de incluir dos piezas que permitan realizar las mediciones de fuerza de los músculos maseteros y de lengua, basándose en el diseño del Medical Oro Myo-Functional Therapy Myoscanner Device expuesto en el apartado 3.2 del capítulo 3 del documento. El sistema de tornillo permite incluir de forma sencilla las piezas necesarias para realizar estas mediciones.

A continuación se muestra la pieza adicional del Medical Oro Myo-Functional Therapy Myoscanner Device para la medición de fuerza de los músculos maseteros.



Figura 555. Pieza adicional para la medición de fuerza de los músculos maseteros

Por último, se muestra la pieza adicional del Medical Oro Myo-Functional Therapy Myoscanner Device para la medición de fuerza de la lengua.



Figura 56. Pieza adicional para la medición de fuerza de la lengua

CONCLUSIONES

- Se desarrolló un sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional, el cual permite la medición y registro de la fuerza máxima de mordida de pacientes, estructurado de acuerdo a las necesidades procedimentales de profesionales de la salud en un rango de 0-500 N. La fuerza de mordida se considera como indicador del estado funcional del sistema masticatorio. Es ahí donde radica la importancia de que el profesional de la salud conozca con certeza el valor de fuerza de mordida de un paciente para así determinar si este padece de trastornos orofaciales.
- La implementación de una interfaz gráfica que permite la gestión y el manejo de los datos clínicos de pacientes además de la posibilidad de guardar históricos de los exámenes de esfuerzos maxilofaciales de cada uno de ellos, representa un paso hacia la interoperabilidad dentro de los sistemas de salud y una menor demanda de tiempo en comparación con los métodos anteriormente implementados para la medición y registro de los esfuerzos maxilofaciales.
- La resolución de los conversores A/D del sistema de acondicionamiento y de procesamiento, permiten disminuir la incertidumbre asociada al sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales, lo cual se ve reflejado en el seguimiento repetible necesario para los tratamiento miofuncionales.
- El seguimiento del protocolo de evaluación creado en conjunto con un profesional de la salud capacitado para realizar mediciones de esfuerzos maxilofaciales, permite confirmar la validez del sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales desarrollado y abre la posibilidad de que dicho sistema pueda ser utilizado en la clínica.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. D. López, A. L. Gómez, L. M. Borrero, and C. García, "Gnatodinamómetro y fuerza oclusal," *Rev. Estomatol.*, vol. 10, no. 1, pp. 15–19, 2002.
- [2] R. Abello, "Gestión de la integración social de la investigación en las IES colombianas," *Univ. Pontif. Boliv. Colcienc.*, 2005.
- [3] S. Hale, G. Kellum, and A. Gross, "Cranial facial structures: subtle differences," *ASHA*, 1991.
- [4] T. M. G. J. van Eijden, "Three-dimensional analyses of human bite-force magnitude and moment," *Arch. Oral Biol.*, vol. 36, no. 7, pp. 535–539, 1991.
- [5] K. Sasaki, a G. Hannam, and W. W. Wood, "Relationships between the size, position, and angulation of human jaw muscles and unilateral first molar bite force.," *J. Dent. Res.*, vol. 68, no. 3, pp. 499–503, 1989.
- [6] J. Helle, T; Tullensalo, "Development of bite force," *Acta Odontol. Scand.*, vol. 48, pp. 89–96, 1990.
- [7] E. Ueki, K; Marukawa, K; Simada, M; Nakagawa K, Yamamoto, "Changes in occlusal force after mandibular ramus osteotomy with and without Le Fort I osteotomy.," *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.*, vol. 36, no. 4, pp. 301–304, 2007.
- [8] A. Vardimon, S. Beckmann, N. Shapack, O. Sarne, and T. Brosh, "Posterior and anterior components of force during bite loading," *J. Biomech.*, vol. 40, no. 4, pp. 820–827, 2007.
- [9] C. P. Fernandes, P. O. J. Glantz, S. A. Svensson, and A. Bergmark, "A novel sensor for bite force determinations," *Dent. Mater.*, vol. 19, no. 2, pp. 118–126, 2003.
- [10] J. F. Isaza, E. Londoño, and S. Roldán, "Sistema electrónico de adquisición para procesar y almacenar datos de fuerza oclusal.," *Rev. CES Odontol.*, vol. 21, no. 2, 2008.
- [11] D. Tortopidis, M. F. Lyons, R. H. Baxendale, and W. H. Gilmour, "The variability of bite force measurement between sessions, in different positions within the dental arch.," *J. Oral Rehabil.*, vol. 25, pp. 681–686, 1998.
- [12] A. Van Der Bilt, A. Tekamp, H. Van Der Glas, and J. Abbink, "Bite force and electromyography during maximum unilateral and bilateral clenching," *Eur. J. Oral Sci.*, vol. 116, no. 3, pp. 217–222, 2008.
- [13] B. Duygu, Koc; Arife, Dogan; Bulent, "Bite Force and Influential Factors on Bite Force Measurements: A Literature Review." [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2853825/>.

- [14] P. Alfaro et al, "Fuerza de mordida: su importancia en la masticación, su medición y sus condicionantes clínicos. Parte I," *Rev. ADM*, vol. 69, no. 3, pp. 108–113, 2012.
- [15] H. Valdrighi, "Análisis cefalométrico resumido de ricketts," *ceFaLomeTría - Técnicas diagnósTico y ProcedimienTos*, vol. 3, pp. 97–100, 2010.
- [16] "Anatomía. MECANISMO NEUROMUSCULAR," *tecnicodelaboratiodental.blogspot.com*. [Online]. Available: <https://es.slideshare.net/hernanborghi/fisiologa-bucal>.
- [17] L. J. Pereira, M. B. D. Gavião, L. R. Bonjardim, P. M. Castelo, and A. Van Der Bilt, "Muscle thickness, bite force, and craniofacial dimensions in adolescents with signs and symptoms of temporomandibular dysfunction," *Eur. J. Orthod.*, vol. 29, no. 1, pp. 72–78, 2007.
- [18] B. Ingervall and C. Minder, "Correlation between maximum bite force and facial morphology in children," *Angle Orthod.*, vol. 67, no. 6, pp. 415–424, 1997.
- [19] M. Farella, M. Bakke, A. Michelotti, A. Rapuano, and R. Martina, "Masseter thickness, endurance and exercise-induced pain in subjects with different vertical craniofacial morphology," *Eur. J. Oral Sci.*, vol. 111, no. 3, pp. 183–188, 2003.
- [20] T. Shinogaya, M. Bakke, C. E. Thomsen, A. Vilmann, A. Sodeyama, and M. Matsumoto, "Effects of ethnicity, gender and age on clenching force and load distribution," *Clin. Oral Investig.*, vol. 5, no. 1, pp. 63–68, 2001.
- [21] L. W. Olthoff, H. W. Van Der Glas, and A. Van Der Bilt, "Influence of occlusal vertical dimension on the masticatory performance during chewing with maxillary splints," *J. Oral Rehabil.*, vol. 34, no. 8, pp. 560–565, 2007.
- [22] T. Labandeiro, "Tipos de fibras musculares y su relación con la fuerza," 2013. [Online]. Available: <https://www.entrenamiento.com/musculacion/fuerza/tipos-de-fibras-musculares-y-su-relacion-con-la-fuerza/>.
- [23] R. A. Pizolato, M. B. D. Gavião, G. Berretin-Felix, A. C. M. Sampaio, and A. S. Trindade Junior, "Maximal bite force in young adults with temporomandibular disorders and bruxism.," *Braz. Oral Res.*, vol. 21, no. 3, pp. 278–283, 2007.
- [24] V. F. Ferrario, C. Sforza, G. Serrao, C. Dellavia, and G. M. Tartaglia, "Single tooth bite forces in healthy young adults.," *J. Oral Rehabil.*, vol. 31, no. 1, pp. 18–22, 2004.
- [25] R. O. S. J. J. Hernández de los Santos, "Ligamento Periodontal," 2011. [Online]. Available: <https://es.slideshare.net/cdfeszaragoza/ligamento-periodontal-10243365>.

- [26] "Periodonto," *Propdental*. [Online]. Available: <https://www.propdental.es/periodontitis/periodonto/>.
- [27] A. Alkan, I. Keskiner, S. Arici, and S. Sato, "The effect of periodontitis on biting abilities.," *J. Periodontol.*, vol. 77, no. 8, pp. 1442–1445, 2006.
- [28] V. F. Ferrario, C. Sforza, G. Zanotti, and G. M. Tartaglia, "Maximal bite forces in healthy young adults as predicted by surface electromyography," *J. Dent.*, vol. 32, no. 6, pp. 451–457, 2004.
- [29] J. W. Kleinfelder and K. Ludwigt, "Maximal bite force in patients with reduced periodontal tissue support with and without splinting.," *J. Periodontol.*, vol. 73, no. 10, pp. 1184–7, 2002.
- [30] W. N. Williams, S. B. Low, W. R. Cooper, and C. E. Cornell, "The effect of periodontal bone loss on bite force discrimination.," *J. Periodontol.*, vol. 58, no. 4, pp. 236–239, 1987.
- [31] E. M. Kogawa, P. S. Calderon, J. R. P. Lauris, C. R. P. Araujo, and P. C. R. Conti, "Evaluation of maximal bite force in temporomandibular disorders patients," *J. Oral Rehabil.*, vol. 33, no. 8, pp. 559–565, 2006.
- [32] H. Acosta, Rodolfo; Rojas, Patricia; Gómez, Beatriz; Hurtado, "Valoración de ruidos articulares en la ATM: Un punto de vista odontológico.," *Rev. Estomatológica*, vol. 4 y 5(1 y, pp. 25–32, 1995.
- [33] C. H. Gibbs, P. E. Mahan, A. Mauderli, H. C. Lundeen, and E. K. Walsh, "Limits of human bite strength," *J. Prosthet. Dent.*, 1986.
- [34] J. Zivko-Babić, J. Pandurić, V. Jerolimov, M. Mioc, L. Pizeta, and M. Jakovac, "Bite force in subjects with complete dentition.," *Coll. Antropol.*, vol. 26, no. 1, pp. 293–302, 2002.
- [35] K. Miyaaura, M. Morita, Y. Matsuka, a Yamashita, and T. Watanabe, "Rehabilitation of biting abilities in patients with different types of dental prostheses.," *J. Oral Rehabil.*, vol. 27, no. 12, pp. 1073–1076, 2000.
- [36] "¿Cuáles Son Las Diferentes Partes Del Diente?," *Colgate*, 2010. [Online]. Available: <http://www.colgate.com.co/CP15/es/co/oc/content/articles/2010/11/CP/Image/s/teeth.jpg>.
- [37] R. Craig, "Mechanical Properties. Restorative Dental Materials.," *C.V Mosby Co.*, pp. 65–112, 1989.
- [38] J. Perez, J. Bermudez, and I. Jimenez, "Variación de la Fuerza Máxima Muscular.," *Memorias Quinto Encuentro Investig. en Odontol. Esc. Colomb. Med.*, 1994.
- [39] M. C. Raadsheer, T. M. G. J. van Eijden, F. C. van Ginkel, and B. Prahl-

- Andersen, "Contribution of Jaw Muscle Size and Craniofacial Morphology to Human Bite Force Magnitude," *J. Dent. Res.*, vol. 78, no. 1, pp. 31–42, 1999.
- [40] A. Curiqueo, C. Salamanca, E. Borie, and P. Navarro, "Evaluación de la Fuerza Masticatoria Máxima Funcional en Adultos Jóvenes Chilenos," vol. 9, no. 3, pp. 443–447, 2015.
- [41] G. Ortu, "A new device for measuring mastication force (Gnathodynamometer)," *Ann. Anat.*, vol. 184, no. 4, pp. 393–396, 2002.
- [42] H. Takeuchi, T. Ikeda, and G. T. Clark, "A piezoelectric film-based intrasplint detection method for bruxism," *J. Prosthet. Dent.*, vol. 86, no. 2, pp. 195–202, 2001.
- [43] D. Konstantinova and M. Dimova, "Historical Review of Gnathodynamometric Methods used for the Assessment of Masticatory Function," *J. IMAB*, vol. 22, no. 3, pp. 1226–1229, 2016.
- [44] S. Braun, J. Freudenthaler, and K. Honigle, "A study of bite force," *The Angle Ortho*, vol. 65, no. 5, pp. 367–377, 1995.
- [45] O. Linderholm and J. Wennstrom, "Bite force and body force in men and women.," *J Pros. Dent.*, vol. 68, pp. 234–243, 1986.
- [46] A. Lindqvist and I. Rindqvist, "Bite force in children with bruxism and without it.," *J Pros. Dent.*, vol. 72, pp. 312–318, 1993.
- [47] M. Y. M. Sc, J. I. Orellana García, and D. H. Tello Salazar, "Medición de Esfuerzos y Deformaciones en Barras Metálicas Utilizando Galgas Extensométricas," *Esc. Super. Politec. Del Litoral*, no. 1, pp. 1–7, 2011.
- [48] Avia Semiconductor, "24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales. HX711," vol. 9530, no. 592, pp. 1–9, 2016.
- [49] E. B. Bacca Cortes, "Introduction to Java Programming," *Mater. clase, Interfaces. Univ. del Val.*
- [50] A. Wesley, "An Introduction to the Rational Unified Process," in *Building J2EE Applications with the Rational Unified Process*, 2002.
- [51] K. Seidler, Kai "Oswald";Vogelgesang, "Acerca de XAMPP." [Online]. Available: <https://www.apachefriends.org/es/about.html>.
- [52] J. C. F. G. I. M. Jcgm, "Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement," *Int. Organ. Stand. Geneva ISBN*, vol. 50, no. September, p. 134, 2008.
- [53] M. Granda Miguel and E. Mediavilla Bolado, "Cálculo de la incertidumbre de medida.," in *Instrumentación Electrónica: Transductores y acondicionadores de señal.*, 2009, pp. 39–46.

ANEXOS

1. CERTIFICACIÓN DE LA VALIDÉZ FUNCIONAL DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ESFUERZOS MAXILOFACIALES EN EXÁMENES DE TERAPIA MIOFUNCIONAL

Santiago de Cali, 29 de noviembre 2017

Señores:

Programa de Ingeniería Electrónica,
Universidad del Valle

Asunto: Validación de la funcionalidad del Sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional.

Cordial saludo.

Yo, Carlos Alberto García Clavijo identificado con la cédula de ciudadanía número 16.647.702 de Cali, docente de la Escuela de Odontología de la Universidad del Valle, certifico que el sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional funciona correctamente y puede ser usado en clínica. Dicho sistema fue realizado por la estudiante Julieth Carolina Arboleda Gómez del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Valle identificada con la cédula de ciudadanía número 1.113.675.767 de Palmira y el Docente Carlos Rafael Pinedo Jaramillo identificado con la cédula de ciudadanía número 16.592.533 de Cali.

Gracias por su atención.

Atentamente,



Carlos Alberto García Clavijo
MSc.OD
C.C 16.647.702

Teléfono: 3188311811

Correo: carlosgarciaclavijo@hotmail.com

2. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ESFUERZOS MAXILOFACIALES EN EXÁMENES DE TERAPIA MIOFUNCIONAL

	Universidad del Valle Sistema para medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional		Rev.: 001
Título: ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS FUNCIONALES		Documento : ERF-001	Página : 1 de 1
REVISIÓN HISTÓRICA			
Rev.	Descripción del Cambio	Autor	Fecha
001	Construcción del documento	Julieth Carolina Arboleda Gómez	2017-04-03
Ref #	Funciones		Categoría
1.0	Base de datos		
1.1	Creación de una base de datos para soportar los requerimientos funcionales. La base de datos se desea cómo un sistema de persistencia de la aplicación.		E
2.0	Ingreso		
2.1	La persona encargada de realizar el examen ingresa la contraseña que habilita la plataforma para realizar el examen, la cual tendrá permisos de usuario.		E
2.2	Ingreso del documento de identidad del paciente para buscarlo en la base de datos.		E
2.3	Registro de nuevos pacientes, así como edición de sus datos clínicos		E
3.0	Lectura de Fuerza de Mordida		
3.1	Soporte de un protocolo de comunicación serial, entre un microcontrolador y el PC, para recibir los datos provenientes de la etapa de adquisición que corresponden a la fuerza de mordida del paciente		E
3.2	El canal serial recibe y realiza la lectura de los datos que serán de tipo real no signado		E
3.3	Visualización de los datos de fuerza en función del tiempo.		E
3.4	Almacenamiento del valor máximo de fuerza de mordida, el tiempo		E

	requerido para llegar al 60% y al máximo de dicho valor. Esto permite tener una idea del comportamiento de la mordida de una persona.	
4.0	Finalización del examen	
4.1	Indicador de que el examen ha finalizado.	E
4.2	La interfaz despliega un campo de texto para que la persona encarga de realizar el examen describa un diagnóstico del paciente de acuerdo a los resultados obtenidos.	E
4.3	Almacenamiento en la base de datos de los datos obtenidos, teniendo en cuenta la hora y fecha en la que se realiza la prueba.	E
4.4	Capacidad para exportar los datos obtenidos del paciente en un archivo con formato .xls	E

3. CASOS DE USO REAL DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ESFUERZOS MAXILOFACIALES EN EXÁMENES DE TERAPIA MIOFUNCIONAL.

	Universidad del Valle -- Sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional--		Rev.: 001
Título: CASO DE USO -- Creación de una base de datos para soportar los requerimientos funcionales. La base de datos se desea cómo un sistema de persistencia de la aplicación.--		Documento : CUR-001	Página : 1 de 11
REVISIÓN HISTÓRICA			
Rev.	Descripción del Cambio	Autor	Fecha
001	Construcción de caso uso	Julieth Carolina Arboleda Gómez	2017-04-05
INFORMACIÓN GENERAL			
Actores:		Desarrollador de la base de datos, usuario	
Propósito:		Creación de una base de datos para soportar los requerimientos funcionales. La base de datos se desea cómo un sistema de persistencia de la aplicación.	
Resumen:		Por medio del lenguaje MySQL se crea una base de datos que contendrá todos los datos clínicos requeridos de cada uno de los pacientes y además se actualizará con los resultados que se obtengan al realizarle el examen a cada uno de ellos.	

Tipo:	Real
Curso Normal de los Eventos	
Acción de los Actores	Respuesta del Sistema
1. Por medio del lenguaje MySQL el desarrollador crea la base de datos.	2. La base de datos en MySQL será utilizada por el sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales, y en dicha base de datos se almacenará toda la información necesaria sobre los pacientes además de los resultados que arroja el examen.

	Universidad del Valle -- Sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional --		Rev.: 001
Título: CASO DE USO -- La persona encargada de realizar el examen ingresa la contraseña que habilita la plataforma para realizar el examen, la cual tendrá permisos de usuario. --		Documento : CUR-002	Página : 2 de 11
REVISIÓN HISTÓRICA			
Rev.	Descripción del Cambio	Autor	Fecha
001	Construcción de caso uso	Julieth Carolina Arboleda Gómez	2017-04-05
INFORMACIÓN GENERAL			
Actores:	Usuario del Laboratorio Virtual		
Propósito:	La persona encargada de realizar el examen ingresa la contraseña que habilita la plataforma para realizar el examen, la cual tendrá permisos de usuario.		
Resumen:	Se despliega un cuadro de diálogo en donde la persona encargada debe ingresar la contraseña que habilita la plataforma para realizar el examen, en donde contará con privilegios de usuario que le permitirá modificar los datos clínicos de los pacientes en la base de datos.		
Tipo:	Real		
Curso Normal de los Eventos			
Acción de los Actores		Respuesta del Sistema	
		1. El sistema despliega una ventana con un campo para ingresar la contraseña.	
2. El usuario ingresa la contraseña y presiona el botón aceptar.		3. El sistema verifica el contenido del campo de contraseña, para que se verifique si la contraseña es válida.	

	4. El servidor web se conecta con la base de datos y realiza la verificación de la contraseña.
	5. Si la contraseña es correcta el sistema habilita la plataforma para realizar el examen.
Curso alterno Eventos	
Respuesta del Sistema	
1. Si la contraseña es incorrecta, el sistema muestra una ventana con un mensaje de error y despliega de nuevo la ventana para ingresar nuevamente la contraseña.	

	Universidad del Valle		Rev.: 001
-- Sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional --			
Título: CASO DE USO		Documento : CUR-003	Página : 3 de 11
-- Ingreso del documento de identidad del paciente para buscarlo en la base de datos.			
REVISIÓN HISTÓRICA			
Rev.	Descripción del Cambio	Autor	Fecha
001	Construcción de caso uso	Julieth Carolina Arboleda Gómez	2017-04-05
INFORMACIÓN GENERAL			
Actores:	Usuario del Laboratorio Virtual		
Propósito:	Ingreso del documento de identidad del paciente para buscarlo en la base de datos.		
Resumen:	El sistema despliega una cuadro de dialogo con un campo para seleccionar el tipo de documento de identidad e ingresar dicho documento. Una vez realizado esto el sistema busca si el paciente ingresado ya se encuentra registrado en la base de datos.		
Tipo:	Real		
Curso Normal de los Eventos			
Acción de los Actores		Respuesta del Sistema	
		1. El sistema despliega un cuadro de diálogo que contiene una lista con los tipos de documento de identidad y un campo de texto para ingresar el número.	
2. El usuario selecciona el tipo de documento,		3. El navegador se encarga de enviar el contenido del campo de tipo de documento y	

ingresa el número y presiona el botón "Buscar".	de número al servidor y este realiza una búsqueda en la base de datos.
	4. El servidor local realiza la conexión con la base de datos y lleva a cabo una consulta basándose en los datos ingresados por el usuario.
	5. La base de datos responde y el servidor local muestra los datos del paciente si este se encuentra en dicha base
	6. Si el paciente se encuentra en la base de datos se habilita la interfaz de captura de datos.
Curso alterno Eventos	
Respuesta del Sistema	
1. Si el paciente no se encuentra en la base de datos se procede a registrarlo.	

	Universidad del Valle -- Sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional--		Rev.: 001
Título: CASO DE USO Registro de nuevos pacientes, así como edición de sus datos clínicos		Documento : CUR-004	Página : 4 de 12
REVISIÓN HISTÓRICA			
Rev.	Descripción del Cambio	Autor	Fecha
001	Construcción de caso uso	Julieth Carolina Arboleda Gómez	2017-04-05
INFORMACIÓN GENERAL			
Actores:	Usuario del Laboratorio Virtual		
Propósito:	Registro de nuevos pacientes, así como edición de sus datos clínicos		
Resumen:	Si el usuario no se encuentra registrado en la base de datos, se habilitará un campo para el registro del nuevo paciente y de los datos clínicos que sean pertinentes.		
Tipo:	Real		
Curso Normal de los Eventos			
Acción de los Actores		Respuesta del Sistema	
1. El usuario introduce los datos clínicos del paciente y presiona el		2. El sistema procede a comprobar que no existan inconsistencias ni repeticiones para posteriormente registrar al paciente en la base	

botón “Registrar”.	de datos con un ID propio.
	3. El sistema notifica al usuario que el paciente ha sido registrado con éxito por medio de una ventana de mensaje.
4. El usuario presiona el botón “Ok”.	5. El sistema habilita la plataforma para la toma del examen.

	Universidad del Valle -- Sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional --		Rev.: 001
Título: CASO DE USO Soporte de un protocolo de comunicación serial, entre un microcontrolador y el PC, para recibir los datos provenientes de la etapa de adquisición.		Documento : CUR-005	Página : 5 de 11
REVISIÓN HISTÓRICA			
Rev.	Descripción del Cambio	Autor	Fecha
001	Construcción de caso uso	Julieth Carolina Arboleda Gómez	2017-04-05
INFORMACIÓN GENERAL			
Actores:		Usuario del Laboratorio Virtual	
Propósito:		Soporte de un protocolo de comunicación serial, entre un microcontrolador y el PC, para recibir los datos provenientes de la etapa de adquisición.	
Resumen:		Por medio de una lista de botones, el usuario activa o desactiva las señales de salida digital y por medio de un botón se confirma esta acción.	
Tipo:		Real	
Curso Normal de los Eventos			
Acción de los Actores		Respuesta del Sistema	
1. El usuario conecta el sistema de medición al puerto COM del computador.		2. Se genera una conexión serial.	
		3. El sistema habilita las opciones que permitirá que el sistema reciba los datos provenientes de la etapa de adquisición.	
Curso alterno Eventos			
Respuesta del Sistema			

1. Si el puerto serial no se encuentra conectado, la interfaz notificará al usuario por medio de una ventana de mensaje que debe conectarlo.

	Universidad del Valle -- Sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional--		Rev.: 001
Título: CASO DE USO- Lectura de datos tipo real no signado a través del puerto serial.		Document o : CUR-006	Página : 6 de 11
REVISIÓN HISTÓRICA			
Rev.	Descripción del Cambio	Autor	Fecha
001	Construcción de caso uso	Julieth Carolina Arboleda Gómez	2017-04-05
INFORMACIÓN GENERAL			
Actores:		Usuario del Laboratorio Virtual	
Propósito:		Lectura de datos tipo real no signado a través del puerto serial.	
Resumen:		El programa recibe datos del microcontrolador, estos dependerán del tipo de señal escogida y del número de canal seleccionado.	
Tipo:		Real	
Curso Normal de los Eventos			
Acción de los Actores		Respuesta del Sistema	
1. El usuario presiona el botón “Comenzar Examen”.		2. El programa inicia a capturar los datos seriales provenientes de la etapa de adquisición.	
Curso alterno Eventos			
Respuesta del Sistema			
1. Si no hay conexión serial, no hay disponibilidad de configuración.			

	Universidad del Valle -- Sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional--		Rev.: 001
Título: CASO DE USO-Visualización de los datos de fuerza en función del tiempo.		Documento : CUR-007	Página : 7 de 11
REVISIÓN HISTÓRICA			
Rev.	Descripción del Cambio	Autor	Fecha

001	Construcción de caso uso	Julieth Carolina Arboleda Gómez	2017-04-05
INFORMACIÓN GENERAL			
Actores:	Usuario del Laboratorio Virtual		
Propósito:	Visualización de los datos de fuerza en función del tiempo.		
Resumen:	En el momento en que el usuario presione el botón “Comenzar Examen” se inicia la graficación de los datos provenientes de la etapa de adquisición		
Curso Normal de los Eventos			
Acción de los Actores		Respuesta del Sistema	
1. El usuario presiona el botón “Comenzar Examen”.		2. Se limpia el panel de graficación y se despliega una ventana de mensaje que notifica al usuario que debe seleccionar en que Unidad de fuerza espera observar la gráfica, relacionando valores en Newtons [N] con el tiempo en segundos.	
3. El Usuario oprime el botón “Ok”.			
4. El usuario selecciona la unidad de fuerza que desea			
		5. La gráfica es generada en el panel dedicado a ello con Unidad de fuerza Vs Tiempo[s].	
		6. El sistema finaliza la toma de los datos después de transcurrido 4 segundos	
Curso alterno Eventos			
Respuesta del Sistema			
1. El sistema por defecto tendrá cómo unidad de fuerza el Newton [N].			

	Universidad del Valle -- Sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional--		Rev.: 001
	Título: CASO DE USO -Almacenamiento del valor máximo de fuerza de mordida.	Documento : CUR-008	Página : 8 de 11
REVISIÓN HISTÓRICA			
Rev.	Descripción del Cambio	Autor	Fecha
001	Construcción de caso uso	Julieth Carolina Arboleda Gómez	2017-04-05

INFORMACIÓN GENERAL	
Actores:	Usuario del Laboratorio Virtual
Propósito:	Almacenamiento del valor máximo de fuerza de mordida.
Resumen:	Almacenamiento del valor máximo de fuerza de mordida, además de la apertura a la posibilidad de exportar los datos de un paciente en un archivo .xls
Tipo:	Real
Curso Normal de los Eventos	
Acción de los Actores	Respuesta del Sistema
1. El usuario selecciona la opción exportar de la pestaña Archivo	
	2. Se despliega un diálogo para que el usuario seleccione la carpeta destino para el archivo .xls y el nombre de este.
3. El usuario elige el nombre y la carpeta destino del archivo.	
4. El usuario presiona el botón "Aceptar".	
	5. Se crea el archivo .xls que contiene el valor de la fuerza de mordida máximo, además de todos los datos clínicos correspondientes.

	Universidad del Valle		Rev.: 001
	-- Sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional--		
Título: CASO DE USO		Documento :	Página :
Indicador de que el examen ha finalizado.		CUR-009	9 de 11
REVISIÓN HISTÓRICA			
Rev.	Descripción del Cambio	Autor	Fecha
001	Construcción de caso uso	Julieth Carolina Arboleda Gómez	2017-04-05
INFORMACIÓN GENERAL			
Actores:		Usuario del Laboratorio Virtual	

Propósito:	Indicador de que el examen ha finalizado.
Resumen:	El sistema detiene la adquisición de datos y avisa al usuario que el examen ha finalizado.
Tipo:	Real
Curso Normal de los Eventos	
Acción de los Actores	Respuesta del Sistema
	1. El sistema detiene la toma de datos después de un tiempo determinado.
	2. Se determina cual es el valor máximo y cuál es el tiempo que le tomó al paciente llegar a ese valor máximo.
	3. El sistema notifica al usuario que el examen finalizó por medio de una ventana de diálogo.

	Universidad del Valle - Sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional -		Rev.: 001
Título: CASO DE USO- La interfaz despliega un campo de texto para que la persona encarga de realizar el examen describa un diagnóstico del paciente de acuerdo a los resultados obtenidos.		Documento : CUR-010	Página : 10 de 11
REVISIÓN HISTÓRICA			
Rev.	Descripción del Cambio	Autor	Fecha
001	Construcción de caso uso	Julieth Carolina Arboleda Gómez	2017-04-05
INFORMACIÓN GENERAL			
Actores:	Usuario del Laboratorio Virtual		
Propósito:	La interfaz despliega un campo de texto para que la persona encarga de realizar el examen describa un diagnóstico del paciente de acuerdo a los resultados obtenidos.		
Resumen:	A través de una lista el usuario podrá enlazar al microcontrolador y al pc serialmente.		
Tipo:	Real		
Curso Normal de los Eventos			
Acción de los Actores		Respuesta del Sistema	
1. El usuario presiona el botón “Diagnóstico”		2. El sistema despliega un campo de texto para que el usuario ingrese el diagnóstico del	

	paciente
3. El usuario ingresa el diagnóstico y presiona el botón aceptar	4. Se almacena el diagnóstico como otro dato del paciente

	Universidad del Valle -Sistema de medición de esfuerzos maxilofaciales en exámenes de terapia miofuncional --		Rev.: 001
Título: CASO DE USO- Almacenamiento en la base de datos de los datos obtenidos, teniendo en cuenta la hora y fecha en la que se realiza la prueba.		Documento : CUR-006	Página : 11 de 11
REVISIÓN HISTÓRICA			
Rev.	Descripción del Cambio	Autor	Fecha
001	Construcción de caso uso	Julieth Carolina Arboleda Gómez	2017-04-05
INFORMACIÓN GENERAL			
Actores:		Usuario del Laboratorio Virtual	
Propósito:		Almacenamiento en la base de datos de los datos obtenidos, teniendo en cuenta la hora y fecha en la que se realiza la prueba	
Resumen:		El sistema actualiza la base de datos, con los datos obtenidos durante el examen y todo lo relacionado con el paciente.	
Tipo:		Real	
Curso Normal de los Eventos			
Acción de los Actores		Respuesta del Sistema	
		1. El sistema actualiza la base de datos con los datos obtenidos durante el examen, la fecha y hora de dicho examen y además el diagnóstico del paciente si el usuario lo ingresó.	