

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA



TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**Diseño e implementación de un goniómetro digital
inalámbrico mediante un encoder incremental y
computadora para valoración articular**

PRESENTA: MARCO ANTONIO MARTÍNEZ LÓPEZ 201738162

ASESOR: M. I. JESÚS ALBERTO ORDAZ RIVERA

**CO-ASESORES: ING. CARLOS ORDAZ RIVERA
DR. HÉCTOR BONILLA BARRANCO**

Puebla, Pue. Abril 2024.

Agradecimientos

En primer lugar, a mis padres Miguel y Marina por su incondicional e inmenso soporte y en dedicación a mis hermanos Miguel, Karen y Lizeth por su incondicional e incansable apoyo; agradeciendo también a cada uno quien me ha aportado acompañamiento y motivación; incluido Dios quien me da soporte cada día.

Resumen

En el presente trabajo se propone un diseño dedicado a un dispositivo de medición angular que parte de un goniómetro simple y que al implementar distintos componentes electrónicos se estableció un prototipo de una versión digital. Dicho goniómetro digital se plantea como una mejora en la precisión de la medición en comparación con un goniómetro tradicional, a la vez que mediante componentes electrónicos en comunicación con una interfaz en software dedicado al prototipo se ofrece una posibilidad de generar un registro de mediciones que sean útiles al incluir información adicional al valor angular, que además de registrar fecha y hora permite agregar etiquetas o comentarios e indicaciones de la articulación que se midió. Lo anterior tiene el propósito de ser una herramienta de seguimiento en el progreso de rehabilitación en diversas condiciones que requieran una observación y valoración articular en diferentes momentos a lo largo de tratamientos indicados por personal profesional de salud.

La propuesta se trata de un sistema conformado por elementos mecánicos que dan estructura, apariencia y funcionalidad al ser la fase en la que comienza la conversión de movimiento mecánico a señales eléctricas que son adquiridas y procesadas por un microcontrolador que le da sentido a dichos datos y en conjunto con un módulo de conexión inalámbrica Bluetooth® realiza un envío sobre una comunicación establecida con una computadora con sistema operativo Microsoft Windows® que ejecute un programa dedicado que se desarrolló para mostrar en pantalla de manera numérica y gráfica el valor angular presentado entre los brazos del dispositivo en su parte física, adicionalmente dicho programa o interfaz ofrece la opción de generar y administrar una lista de lecturas capturadas que pueda ser exportada a una hoja de cálculo de Microsoft Excel® con el objetivo de ser una fuente de datos para análisis en procesos de rehabilitación en el rango de movimiento de la articulación que tenga en tratamiento el personal de salud involucrado.

El dispositivo pretende ser una herramienta que al mismo tiempo de suponer un instrumento más cómodo en su utilización; y con él se puedan obtener mediciones suficientemente confiables dados sus componentes y funcionamiento para ser constituyentes de procesos de valoración articular basados en la revisión del rango de movimiento.

Índice general

Introducción.....	7
Capítulo I. Principios y fundamentos	8
1.1 Planteamiento del problema.....	9
1.2 Justificación.....	10
1.3 Objetivos	11
1.3.1 Objetivo general.....	11
1.3.2 Objetivos específicos.....	11
1.4 Descripción de la propuesta.....	12
1.4.1 Diagrama simplificado.	13
1.5 Alcances.....	14
1.6 Limitaciones	14
1.7 Estudio del campo del arte.....	15
1.7.1 Goniómetro digital EasyAngle®.....	15
1.7.2 Goniómetro digital Baseline® Absolute+Axis®.....	16
1.7.3 Goniómetro digital para medir flexo extensión en brazo derecho como propuesta para aplicaciones en telerehabilitación.....	17
1.7.4 Prototipo de un goniómetro digital empleando el sistema Kinect de Microsoft.....	18
1.8 Goniometría y su aplicación.	19
1.8.1 Goniometría en ciencias de la salud.....	19
1.8.2 Goniómetro.....	19
1.8.3 Goniómetro digital.....	20
1.8.4 Uso del goniómetro.....	21
1.9 Subsistemas del goniómetro digital.....	22
1.9.1 Subsistema mecánico.....	22
1.9.2 Subsistema electrónico.....	23
1.9.3 Subsistema de interfaz de visualización y registro	32
Capítulo II. Desarrollo y construcción.....	35
2.1 Incorporación del transductor para adquirir una separación angular	36
2.2 Integración de un microcontrolador adecuado.....	38
2.3 Elección de un módulo de comunicación inalámbrica	41

2.4 Desarrollo del software de escritorio.....	44
2.4.1 Sección de comunicación.....	46
2.4.2 Sección de visualización gráfica del ángulo actual.....	47
2.4.3 Sección de la gestión de la tabla de registro de mediciones.....	48
2.5 Desarrollo del circuito electrónico.....	52
2.5.1 Sección de alimentación y carga con batería.....	53
2.5.2 Sección de conversión de voltaje.....	55
2.5.3 Sección de adquisición y procesamiento de datos.....	56
2.5.4 Diseño de la tarjeta de circuito impreso (PCB).....	58
2.6 Diseño de componentes mecánicos por medio de CAD.....	60
Capítulo III. Resultados y conclusiones.....	65
3.1 Resultados.....	66
3.2 Conclusiones y trabajos futuros.....	76
3.2.1 Conclusiones generales.....	76
3.2.2 Trabajos futuros.....	77
Bibliografía.....	78
Anexos.....	81
Anexo A. Código de programación implementado en el microcontrolador.....	81
Anexo B. Código de programación implementado para la interfaz de escritorio.....	83
Anexo C. Manual de instalación, uso de opciones de interfaz y carga de batería del goniómetro digital.....	91
Anexo D. Participación en congreso SENIE 2022.....	109

Índice de figuras.

Figura 1. Funcionamiento simplificado de la propuesta.	13
Figura 2. Instrumento EasyAngle.Tomado de (Equipos Interferenciales, 2017)....	15
Figura 3.Goniómetro Absolute+Axis®. Tomado de (Fabrication Enterprises Inc., 2023).....	16
Figura 4. Goniómetro digital con IMU. Tomado de (Cuevas, de Amirola, Romero, & Rostro, 2015).....	17
Figura 5. Interfaz de goniómetro con Kinect. Tomado de (Consuelo E., 2014).....	18
Figura 6. Componentes de un goniómetro. Tomado de (Taboadela, 2007).....	20
Figura 7. Principio de construcción del encoder incremental: las superficies color gris son ópticamente transparentes. Tomado de (Incze, Szabó, & Imecs, 2010). 24	
Figura 8. Diagrama de las señales de salida generadas por el encoder incremental para rotación en sentido antihorario (CCW) y horario (CW). Tomado de (Incze, Szabó, & Imecs, 2010).	24
Figura 9. Circuito básico elevador de tensión.....	26
Figura 10. Diagrama de componentes básicos de un microcontrolador. Tomado de (Yadav & Singh, 2004).	27
Figura 11. Entorno del software MPLAB X IDE.	28
Figura 12. Trama de una transmisión UART. Tomado de (J. Norhuzaimin, 2005) 30	
Figura 13. Topología de la tecnología Bluetooth®. a) Bluetooth Classic, b) Bluetooth Low Energy. Tomado de (Bluetooth SIG, Inc., 2023)	31
Figura 14. Entorno inicial de Windows Forms en Visual Studio 2019.	34
Figura 15. Encoder óptico incremental de la serie ES38. Tomado de (CALT©, 2021)	36
Figura 16. Secuencia de pulsos del encoder para el caso CW. Captado con osciloscopio Hantek® DSO404072C.....	37
Figura 17. Secuencia de pulsos del encoder para el caso CCW. Captado con osciloscopio Hantek DSO404072C.	38
Figura 18.Microcontrolador PIC24EP128MC202. Tomado de (Microchip Technology Inc., 2023)	38
Figura 19. Señales de interfaz de encoder de cuadratura. Tomado de (Microchip Technology Inc., 2007).....	40
Figura 20. Diagrama simplificado de la interfaz de encoder de cuadratura del microcontrolador PIC24EP128MC202. Tomado de (Microchip Technology Inc., 2007)	41
Figura 21. Módulo Bluetooth HM-10. Tomado de (Components101, 2020)	42
Figura 22. Módulo Bluetooth HC-06. Tomado de (Components 101, 2018)	43
Figura 23. Algoritmo de lectura del contador del módulo QEI y envío al módulo Bluetooth.	44
Figura 24. Algoritmo para la comunicación circuito-computadora.	45
Figura 25. Vista de la interfaz para la visualización del ángulo medido.	46
Figura 26. Ilustración de la comunicación inalámbrica.	47
Figura 27. Aparado de comunicación en el software y la identificación del uso de puertos COM.	47
Figura 28. Gráfica de ángulo actual e indicador numérico.	47

Figura 29. Sección de registro de datos en la interfaz.	48
Figura 30. Activación del botón "Abrir documento Exportado"	50
Figura 31. Vista del documento exportado.	50
Figura 32. Secuencia de uso de la interfaz gráfica en Windows.	52
Figura 33. Batería Li-Po propuesta para alimentación del circuito electrónico. Tomada de (UNIT Electronics, s.f.)	53
Figura 34. Sección del circuito electrónico dedicado a la carga de la batería.	53
Figura 35. Aplicación típica del circuito integrado TP4056. Tomado de (NanJing Top Power ASIC Corp.)	54
Figura 36. Sección de protección de sobre-descarga/corto circuito de la alimentación.	55
Figura 37. Zona de conversión de la energía.	55
Figura 38. Aplicación típica de circuito integrado M3608. Tomado de (Xi' an Aerosemi Technology Co., Ltd)	56
Figura 39. Sección de procesamiento de datos y comunicación.	57
Figura 40. Pines del microcontrolador PIC24EP128MC202 que son tolerantes a 5 V.	57
Figura 41. Circuito electrónico completo.	58
Figura 42. Diseño de la tarjeta PCB. a) Capa superior b) Capa inferior.	59
Figura 43. Tarjeta manufacturada y dimensiones. a) Capa superior b) Capa inferior.	59
Figura 44. PCB con los componentes necesarios. a) Vista superior b) Vista inferior.	59
Figura 45. Dimensiones y forma de la pieza fija diseñada por CAD.	60
Figura 46. Dimensiones y forma de la pieza móvil diseñada por CAD.	60
Figura 47. Dimensiones y forma de la pieza inferior de la caja para el circuito.	61
Figura 48. Dimensiones y forma de la pieza superior de la caja para el circuito. ...	61
Figura 49. Dispositivo goniómetro digital en primera versión.	62
Figura 50. Nuevo diseño de PCB. Capa superior.	62
Figura 51. Nuevo diseño de PCB. Capa inferior.	62
Figura 52. Dimensiones de pieza fijada al encoder incremental.	63
Figura 53. Dimensiones de pieza que cubre el circuito electrónico.	63
Figura 54. Dimensiones de pieza móvil que se encuentra vinculada al eje del encoder incremental.	63
Figura 55. Modelo 3D de los elementos físicos del goniómetro digital.	64
Figura 56. Circuito montado en PCB. Lado superior.	66
Figura 57. Circuito montado en PCB. Lado inferior.	66
Figura 58. Aspecto físico del goniómetro digital.	66
Figura 59. Vista de los controles, indicadores y puerto en el goniómetro digital. ...	67
Figura 60. Medición de tiempo entre envío de datos.	67
Figura 61. Sistema del goniómetro digital completo.	68
Figura 62. Muestra de captura para registro de mediciones para comparación entre goniómetro simple y digital.	71
Figura 63. Archivo ejecutable en el Explorador de Windows.	91
Figura 64. Ventana de instalación del software.	91
Figura 65. Ventana de instalación completa de la interfaz.	92
Figura 66. Ubicación del switch de encendido y apagado.	92

Figura 67. Acceso a configuración desde el menú de inicio.....	93
Figura 68. Vista de la configuración para acceder a los dispositivos.	93
Figura 69. Opción para agregar dispositivos.....	94
Figura 70. Asistente de agregar dispositivos.....	94
Figura 71. Goniómetro digital mostrado en dispositivos detectados.	95
Figura 72. Ingreso del pin para la vinculación.	95
Figura 73. Notificación de emparejamiento exitoso.....	96
Figura 74. Acceso al Panel de control desde el menú de inicio.	96
Figura 75. Ubicación de la opción para acceder a la lista de dispositivos e impresoras.....	97
Figura 76. Localización del dispositivo.	97
Figura 77. Puerto COM en las propiedades del dispositivo.....	98
Figura 78. Acceso al software de interfaz desde el menú de inicio.	99
Figura 79. Lista de puertos COM en la interfaz.	99
Figura 80. Botón de conexión.....	100
Figura 81. Cambio en el indicador de conexión.	100
Figura 82. Indicador LED del estado de conexión.....	100
Figura 83. Vista de la interfaz en conjunto con el goniómetro digital.....	101
Figura 84. Alineación de los brazos del goniómetro.....	101
Figura 85. Botón de reset.	102
Figura 86. Notificación de reset aplicado.	103
Figura 87. Localización de los campos de "Articulación" y "Comentario".....	103
Figura 88. Botón de lectura y primer registro.	104
Figura 89. Campo para el nombre del paciente.	104
Figura 90. Ventana para carga de registro previo.	104
Figura 91. Selección de fila a borrar de la tabla.	105
Figura 92. Botón de limpiar la tabla.....	105
Figura 93. Ventana para la localización del archivo .xlsx generado.	106
Figura 94. Mensaje de exportación completada.....	106
Figura 95. Archivo generado por abrirse.	106
Figura 96. Vista del archivo generado desde Microsoft Excel.....	107
Figura 97. Puerto de carga Micro-USB.	108
Figura 98. Indicador "cargando".....	108
Figura 99. Indicador "cargado".....	108

Introducción

Durante décadas se han aplicado diferentes técnicas de goniometría aplicada a procesos de valoración articular en México, sin embargo, en materia de desarrollo de goniómetros específicamente diseñados y fabricados en nuestro país, ha habido un progreso limitado.

Existen algunas propuestas y proyectos que han surgido en los últimos años a nivel investigación, sin embargo, no se ha logrado una producción significativa a nivel comercial. Dado lo anterior se ha requerido la adquisición de modelos de origen extranjero para llevar a cabo las evaluaciones de rango de movimiento en articulaciones.

Esta condición da paso a costos elevados debido a la importación de equipos, y a una dependencia de tecnología extranjera al requerir un mantenimiento o personal capacitado de soporte que no se encuentra a un alcance inmediato, además esto supone limitaciones en cuanto a la accesibilidad y disponibilidad de estos dispositivos en México.

Aunado a esto, dado que el desarrollo a nivel nacional se encuentra rezagado, existe un área de oportunidad de innovación en el sector de dispositivos médicos.

Conociendo las condiciones actuales que describen el uso de dispositivos de goniometría en el país se presenta un instrumento enfocado a fisioterapia que sea capaz de cubrir la necesidad de evaluar de manera precisa y objetiva el rango de movimiento articular en pacientes. Este instrumento se diseña buscando una solución eficiente y que suponga un bajo costo, que pueda ser fabricado en México, lo que permitiría aumentar el alcance de dispositivos tecnológicos en instituciones de salud y proporcionar a los profesionales de la fisioterapia una herramienta confiable y accesible, para llevar a cabo sus valoraciones de manera eficiente.

Aunque los goniómetros tradicionales son aparatos de fácil acceso, un costo muy reducido y suponen una herramienta fundamental para la valoración fisioterapéutica se propone adaptar elementos electrónicos que mejoren la calidad de lectura (precisión), incrementar la utilidad de la herramienta conveniente al usuario (personal de fisioterapia), y además, la capacidad de generar un registro digital entre diferentes lecturas en distintos momentos a lo largo del proceso de rehabilitación y valoración articular, para comparar el progreso de cada paciente tratado conforme el personal de salud y sus indicaciones.

Capítulo I. Principios y fundamentos

En este capítulo inicial se abordan conceptos iniciales de goniometría, sus aplicaciones en el contexto de ciencias de la salud además de contener el planteamiento del problema, justificación, objetivos y descripción de la propuesta de este documento desglosando los subsistemas que componen al goniómetro digital presentado.

1.1 Planteamiento del problema

Al hablar de técnicas de goniometría para procedimientos de valoración articular en humanos se contempla como una de las herramientas con uso más extendido al goniómetro simple. A través de los años ha sido una opción altamente elegida para este propósito a nivel tanto local como internacional dada su facilidad de uso. En nuestro país no es la excepción, no obstante, se han desarrollado alternativas que impliquen un mayor grado de tecnología con el objetivo de mejorar la calidad de las mediciones articulares en dichos procesos de valoración. Estamos hablando de goniómetros de naturaleza digital que ofrecen mediciones más precisas, rápidas y cómodas.

Sin embargo, dispositivos como los mencionados no han visto un desarrollo de diseño y/o fabricación en México. Por lo tanto, para poseer herramientas de esa clase ha sido necesaria una adquisición en el extranjero de estos aparatos.

Al ser entonces un desarrollo reducido en el país en el área de instrumentos para evaluaciones de rango de movimiento en articulaciones se identifica un área con posibilidad de proponer modelos que cubran esta necesidad y sean diseñados nacionalmente.

Se toma este enfoque debido a diferentes condiciones provocadas por la adquisición de instrumentos extranjeros como la alza en costos, tiempos prolongados para procesos de mantenimiento o disponibilidad reducida.

Dada la anterior perspectiva se plantea cubrir la necesidad de una opción nacional que sea capaz de ser un instrumento que apoye la evaluación del rango de movimiento en articulaciones de manera que cumpla con la precisión necesaria para procesos de valoración por parte de personal capacitado en materia de salud, que además sea una opción que facilite y que en cierta medida haga cómoda la evaluación en la práctica.

Se pretende además de cumplir con una medición suficiente para el criterio de profesionales de la salud ofrecer particularidades tal como la posibilidad de realizar una tabulación de registros por software que no poseen otros modelos existentes.

Con el dispositivo goniómetro digital que se desarrolle se pretende establecer una accesibilidad que permita una expansión a largo plazo de un instrumento tecnológico que pueda ser utilizado en centros de salud de todos niveles y no se requiera un presupuesto muy alto para contar con este tipo de herramientas en clínicas o consultorios que estén orientados a procesos de evaluación articular para dar atención a pacientes que requieran un tratamiento de este tipo.

1.2 Justificación

El proyecto se plantea como una propuesta de mejora a un dispositivo ampliamente utilizado en el área de fisioterapia para valoración de movilidad en pacientes en procesos de rehabilitación; el goniómetro tradicional. Dicho dispositivo es de fácil acceso, a un costo bastante asequible y supone una herramienta fundamental en dicha área.

Esta propuesta contempla el uso de componentes electrónicos para realizar una adquisición del ángulo medido de manera digital; esto tiene como ventaja el poder alcanzar una lectura más exacta que la que se puede obtener con un goniómetro simple, entonces se puede describir como una medición de mayor calidad.

Al basarse en elementos electrónicos es requerido desarrollar una integración de diferentes dispositivos que en conjunto se orienten a adquirir desde un movimiento físico un comportamiento que pueda ser captado, procesado, almacenado y mostrado a usuario. Para esta integración se necesita contar con consideraciones mecánicas, electrónicas, y desarrollo de algoritmos de programación que finalmente resulten en una medición adecuada, cómoda y útil para efectos de valoración articular ofreciendo mayor calidad en la medición frente a la opción tradicional.

En cuanto a la exactitud del resultado se tiene que el goniómetro tradicional tiene una resolución no mayor a 1 o 2 grados sexagesimales, mientras que el goniómetro digital ofrece una resolución en fracciones de grados, lo cual es una ventaja en comparación con el método tradicional.

Además de incrementar la exactitud en una medición se contempla que esta opción propuesta cuente con la capacidad de generar un registro entre lecturas en diferentes momentos a lo largo del proceso de rehabilitación y poder comparar el progreso en la valoración de cada paciente tratado conforme el personal de salud haya indicado. Dicho registro tiene como objetivo ser generado mediante procedimientos sencillos y rápidos desde el punto de vista del usuario, para conseguirlo se complementa con el desarrollo de un programa de computadora, que no suponga una dificultad en el manejo simplificando la interfaz tanto como sea posible.

Al unir todos los elementos mencionados en conjunto se estima que la solución sea adecuada para el uso en el contexto de la valoración articular y sea suficiente para estar presente en diversas instituciones que atiendan estas necesidades de salud.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Diseñar e implementar un goniómetro digital inalámbrico mediante un encoder incremental y una interfaz en computadora orientado a la realización de valoración física articular del cuerpo humano.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Identificar el funcionamiento de un goniómetro en valoración articular para definir los componentes en el desarrollo de un goniómetro digital inalámbrico.
2. Proponer el algoritmo de adquisición de datos angulares para su procesamiento de forma digital.
3. Diseñar una interfaz de usuario para la visualización y registro de las magnitudes angulares mediante herramientas de programación de código abierto.
4. Desarrollar el circuito eléctrico a través de componentes electrónicos y de comunicación inalámbrica.

1.4 Descripción de la propuesta

La propuesta que se plantea consiste en un prototipo de un dispositivo capaz de generar una medición angular de manera suficientemente confiable para ser utilizado en procesos de valoración articular. Se toma como aspecto central el uso de elementos electrónicos que contribuyan a una medición precisa, con una resolución superior a la que se puede conseguir con un goniómetro tradicional.

Por tanto, se propone diseñar un goniómetro de tipo digital que sea capaz de ser una herramienta útil para personal de ciencias de la salud orientado a procedimientos de valoración física articular del cuerpo humano. Dicho goniómetro se plantea de naturaleza inalámbrica, capaz de conectarse a una computadora con el objetivo de mostrar el valor de medición angular entre los brazos del aparato físico de manera numérica y visual. Para conseguir esta visualización se desarrollará un software que actúe como una interfaz ejecutable como un programa que sea capaz de mantener una comunicación inalámbrica con el circuito electrónico de manera suficientemente estable para actualizar el valor medido a través de un transductor de movimiento rotacional a pulsos eléctricos. La comunicación se plantea con actualización de datos en el orden de milisegundos para evitar retrasos entre envío de estos que obstruyan una correcta medición para los fines planteados.

El desarrollo de la propuesta contempla tareas de identificación del funcionamiento que tiene un goniómetro en valoración articular con lo que será posible integrar los elementos necesarios para conformar un prototipo digital e inalámbrico. Además, se requerirá diseñar algoritmos de adquisición y procesamiento de manera digital dentro del apartado electrónico físico que trabajen en conjunto con elementos mecánicos para dar sentido a los datos y sean tratados como información de una medición angular.

Por otro lado, ya que la propuesta también integrará componentes en software se requiere un desarrollo de algoritmo para la comunicación con el apartado físico electrónico, visualización de datos de medición y además la generación de una tabla de registros que contribuyan a enlistar diferentes mediciones que el personal de valoración articular desee. Lo anterior tiene la finalidad de ser una herramienta útil en procesos de seguimiento de progreso en diferentes tratamientos que el personal de salud designe. Con la serie de registros o lecturas capturadas es posible generar una base de datos particular que contemple fecha y hora de la medición, así como anotaciones que sean útiles para aportar al criterio del personal tratante.

1.4.1 Diagrama simplificado.

El diagrama presentado en la Figura 1 describe de manera simplificada el funcionamiento de los componentes contemplados en el sistema.

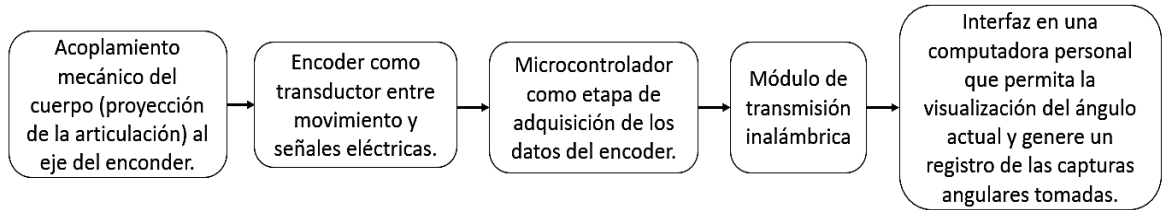


Figura 1. Funcionamiento simplificado de la propuesta.

El sistema conformado por hardware programable, software de escritorio y construcción de un modelo físico se plantea como una integración de elementos que funcione de manera coordinada, con el objetivo de ofrecer una herramienta cómoda, útil y sobre todo confiable para uso en unidades que atiendan procesos de valoración articular en humanos.

1.5 Alcances

- El proyecto se conformará por la construcción de un prototipo funcional a escala real que pueda ser incorporado a procesos de valoración articular.
- El prototipo será constituido por hardware de adquisición, además de una comunicación inalámbrica que lo vincule a una interfaz de escritorio para sistema operativo Windows.
- La interfaz gráfica se desarrollará para Windows dado que es el sistema operativo de escritorio con mayor presencia por lo que mayor número de usuarios están familiarizados con él.

1.6 Limitaciones

- La elección de los componentes puede verse afectada por la disponibilidad o accesibilidad de estos.
- Acceso escaso a instancias de salud que atienden procesos de rehabilitación articular.
- No se cuenta con una instancia pertinente para generar procesos de certificación sin embargo se limitará a pruebas de tipo estadístico.

1.7 Estudio del campo del arte

Dentro del panorama de goniómetros digitales existen diferentes opciones presentes tanto en mercado como en el campo de la investigación.

1.7.1 Goniómetro digital EasyAngle®.



Figura 2. Instrumento EasyAngle. Tomado de (Equipos Interferenciales, 2017)

EasyAngle es un innovador dispositivo de manejo de movimiento que permite a los fisioterapeutas y otros profesionales de la salud medir la movilidad de todas las articulaciones relevantes del cuerpo.

Está diseñado para facilitar la evaluación de los ángulos anatómicos de las articulaciones y también permite al usuario ver los resultados en la pantalla. Ofrece a los profesionales de la salud la capacidad de proporcionar una mejor retroalimentación al paciente y motivar a los pacientes a seguir los programas de rehabilitación establecidos.

Sustituye al goniómetro tradicional, el inclinómetro y el dispositivo CROM y BROM. (Equipos Interferenciales, 2017)

Especificaciones técnicas:

- Tiempo de carga: 2 horas.
- Tiempo de uso por carga: 2 semanas (a 12 minutos de uso / día).
- Tiempo de capacidad de carga en Stand-by: 11 semanas.
- Precisión del sensor: $\pm 1^\circ$ dentro de 180° .
- Certificación CE: Certificado como dispositivo médico según MDD 93/42 / EEC y en FDA: listado como dispositivo médico de Clase 1.
- Especificaciones del cargador: 5 V, 0.2 A, USB Micro B.

Precio: \$ 13,105.51 MXN. (Equipos Interferenciales, 2017)

1.7.2 Goniómetro digital Baseline® Absolute+Axis®.



Figura 3. Goniómetro Absolute+Axis®. Tomado de (Fabrication Enterprises Inc., 2023)

Goniómetro digital Absolute+Axis básico® - Escala LCD de 180 grados - Los brazos de 9 pulgadas tienen niveles Absolute+Axis® integrados. Alimentado por 1 batería de 9 V, incluida. El goniómetro Absolute+Axis® (AA) establece una vertical u horizontal "verdadera" al punto de inicio de una medición. Muchas mediciones goniométricas requieren que un brazo del goniómetro se coloque en posición horizontal o vertical. Luego, el otro brazo se alinea con la parte del cuerpo del paciente. Hasta ahora, el practicante tenía que "asumir" o "mirar" la posición vertical u horizontal. Esta interpolación es a menudo incorrecta e introduce errores de medición. El goniómetro Absolute+Axis® elimina la variabilidad de la medición y permite que el médico se concentre en la colocación correcta del otro brazo del goniómetro y la posición del cuerpo del paciente. Algunas medidas que el goniómetro AA está diseñado para mejorar son: rotación de hombros y caderas (interna, externa); flexión, extensión, rotación y flexión lateral del cuello uterino; flexibilidad de los isquiotibiales; y ROM activa. (Fabrication Enterprises Inc., 2023)

Especificaciones:

- Ángulo de trabajo: 0 ° ~ 185 °.
- Resolución: 0.1 °.
- Precisión Angular: ± 0.5 °.
- Tamaño: 278 mm x 52 mm x 23.7 mm.
- Alimentación: Batería 9 V.

Precio: \$ 90 USD (Aprox. \$1550 MXN) (Fabrication Enterprises Inc., 2023)

1.7.3 Goniómetro digital para medir flexo extensión en brazo derecho como propuesta para aplicaciones en telerehabilitación.



Figura 4. Goniómetro digital con IMU. Tomado de (Cuevas, de Amirola, Romero, & Rostro, 2015)

El goniómetro fue creado utilizando un IMU programado en [el microcontrolador integrado en la placa de desarrollo] Arduino Nano para realizar la detección del ángulo por medio de un modelo matemático de ángulos e Euler; para poder mostrarlo gráficamente se utilizó el software de Processing para Arduino. También se creó un goniómetro digital en una aplicación para móviles Android utilizando el software MIT App Inventor para acceder a los sensores de posición integrados en el Smartphone. Como resultado pudimos observar mediciones de flexo extensión utilizando el dispositivo en Arduino y en Smartphone. (Cuevas, de Amirola, Romero, & Rostro, 2015)

1.7.4 Prototipo de un goniómetro digital empleando el sistema Kinect de Microsoft.

El prototipo diseñado en esta tesis permite evaluar la validez y confiabilidad de las medidas obtenidas con el sistema Kinect. Se toma como referencia las medidas hechas por especialistas del CMLALM, sin embargo, este prototipo se puede utilizar para comparar las medidas del sistema Kinect con otros dispositivos, tales como teléfonos celulares que cuentan con aplicaciones de goniómetro digital [Ferriero, 2011], radiografías para medir los ROMs de los participantes [Brosseau, 1997] u otros sistemas de visión comercial como el Xsens [Xsens, 2014] o Vicon [Vicon, 2014]. (Consuelo E., 2014)

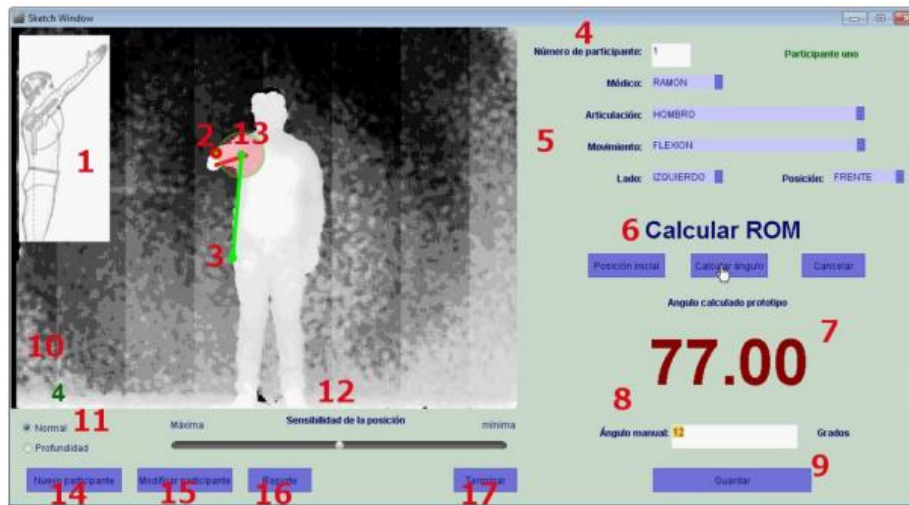


Figura 5. Interfaz de goniómetro con Kinect. Tomado de (Consuelo E., 2014)

1.8 Goniometría y su aplicación.

1.8.1 Goniometría en ciencias de la salud

La goniometría en ciencias de la salud se concibe como una técnica de estudio de los ángulos formados por el corte de dos ejes longitudinales óseos en una articulación.

La goniometría es una disciplina importante en el campo de las ciencias de la salud, especialmente en áreas como la fisioterapia, la terapia ocupacional y la medicina deportiva. A través de la medición de los ángulos articulares, la goniometría permite evaluar y cuantificar la movilidad de las articulaciones en diferentes planos y direcciones.

Esta técnica se utiliza para determinar la amplitud o rango de movimiento de las articulaciones y detectar cualquier restricción o limitación en dicha movilidad. Además, la goniometría puede ser utilizada para realizar comparaciones entre las mediciones obtenidas en diferentes momentos del tiempo, lo que facilita el seguimiento del progreso del paciente durante el proceso de rehabilitación.

La goniometría permite la evaluación y diagnóstico de lesiones y trastornos musculoesqueléticos, además de establecer objetivos específicos de tratamiento, diseñar programas de ejercicios y evaluar la efectividad de alguna intervención o tratamiento. Es importante en la investigación científica, ya que proporciona mediciones objetivas y cuantificables de la movilidad articular. Estas mediciones pueden llegar a ser utilizadas para evaluar la eficacia de diferentes tratamientos o terapias, y, contribuir al desarrollo de nuevas estrategias de rehabilitación.

En resumen, la goniometría desempeña un papel fundamental en las ciencias de la salud al permitir la evaluación objetiva de la movilidad articular y proporcionar información valiosa para el diagnóstico, tratamiento y seguimiento de pacientes con diversas afecciones musculoesqueléticas.

El análisis de los ángulos de las articulaciones humanas podría utilizarse para detectar condiciones patológicas de la articulación de la rodilla y trastornos de la locomoción según el rango de movimiento. (Domínguez , Cardiel, Arias, & Rogeli, 2013)

1.8.2 Goniómetro

Un goniómetro es un instrumento utilizado en ciencias de la salud para medir y evaluar los ángulos articulares del cuerpo humano. Su nombre deriva de las palabras griegas "*gonia*" (que significa "ángulo") y "*metron*" (que significa "medida"). Es una herramienta fundamental en disciplinas como la fisioterapia o la terapia ocupacional.

El goniómetro es el principal instrumento que se utiliza para medir los ángulos en el sistema osteoarticular. Se trata de un instrumento práctico, económico, portátil y fácil de utilizar, que suele estar fabricado en material plástico (generalmente transparente), o bien, en metal (acero inoxidable).

Los goniómetros poseen un cuerpo y dos brazos o ramas, uno fijo y el otro móvil. El cuerpo del goniómetro es, en realidad, un transportador de 180 ° o 360 °. La escala del transportador suele estar expresada en divisiones cada 1 °, cada 5 °, o bien, cada 10 °. El punto central del cuerpo se llama eje o axis. (Taboadela, 2007)

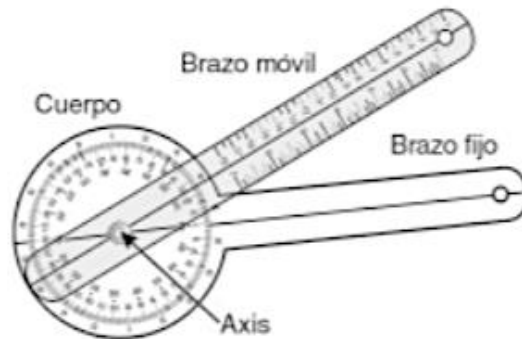


Figura 6. Componentes de un goniómetro. Tomado de (Taboadela, 2007).

Estos brazos se colocan en relación con los ejes longitudinales óseos que conforman una articulación. Algunos goniómetros pueden tener forma de semicírculo, mientras que otros tienen una forma más asemejada a un rectángulo. En la escala del goniómetro, se encuentran marcados los grados y las subdivisiones correspondientes a la medición de ángulos. El fisioterapeuta o profesional de la salud coloca el goniómetro sobre la articulación que desea medir.

Al realizar una evaluación, se registra el ángulo resultante alineando la escala del goniómetro con la posición de los brazos. Esto permite obtener una medición objetiva y precisa del rango de movimiento de una articulación específica. Los ángulos se leen en grados, y en algunos goniómetros también se pueden apreciar subdivisiones más pequeñas para obtener mediciones más precisas.

1.8.3 Goniómetro digital

Un goniómetro digital es una versión electrónica del goniómetro tradicional utilizado en ciencias de la salud para medir los ángulos articulares del cuerpo humano. A diferencia del goniómetro convencional, que utiliza una escala graduada y requiere una lectura visual, el goniómetro digital utiliza sensores electrónicos para medir y mostrar los ángulos de forma precisa y rápida.

En lugar de una escala impresa, el goniómetro digital necesita una pantalla digital donde se muestra el ángulo medido de manera numérica, generalmente en grados.

Un goniómetro digital utiliza tecnología de sensores, en ocasiones acelerómetros, inclinómetros o encoders para detectar los cambios de posición de los brazos y calcular el ángulo resultante. Algunos modelos también cuentan con funciones adicionales, como la capacidad de almacenar y registrar mediciones anteriores.

Este tipo de goniómetro ofrece varias ventajas en comparación con el goniómetro tradicional. Una de ellas es proporcionar mediciones más precisas, ya que no depende de la interpretación visual del usuario.

Otra ventaja por considerar es la facilidad de uso y la conveniencia. El goniómetro digital es generalmente liviano, portátil y fácil de manipular. Además, la pantalla digital facilita la lectura rápida y precisa de los resultados.

Estos dispositivos ofrecen una forma más eficiente y precisa de medir los ángulos articulares, lo que contribuye a una evaluación y tratamiento más efectivos.

1.8.4 Uso del goniómetro

Para realizar una medición angular de una articulación del cuerpo se sigue una secuencia que se describe a continuación:

1. Colocar el goniómetro sobre el fulcro de la articulación. Esto variará dependiendo de la junta que esté midiendo. Colocar el brazo estacionario del goniómetro a lo largo de la línea estacionaria del cuerpo y el brazo móvil en la parte móvil del cuerpo.
2. Pedir al paciente que mueva la articulación en la dirección deseada. Hacer que el paciente se mueva a su máxima capacidad de movimiento, siguiendo el movimiento con el brazo móvil del goniómetro. Asegurarse de que el brazo estacionario permanezca recto.
3. Estabilizar la porción estacionaria del cuerpo. Esta es la parte del cuerpo que está proximal (más cerca de la línea media del cuerpo) de la articulación que está probando. Es importante que el paciente no mueva su cuerpo mientras mueve la articulación; este paso aísla el movimiento de la articulación para una medición más precisa.
4. Observar la lectura en el goniómetro antes de retirarla del cuerpo del paciente. Asegurarse de tomar una lectura precisa del grado de movimiento en el goniómetro y de usar constantemente los mismos puntos de referencia fijos y móviles en el cuerpo al medir, para garantizar la consistencia. Asegurarse de registrar el rango de movimiento de la articulación. (Martínez López, Ordaz Rivera, Renero Carrillo, Soto García, & Fierro Rojas, 2023)

1.9 Subsistemas del goniómetro digital.

El goniómetro digital que se describe se constituye primordialmente de 3 secciones que podemos denotar como subsistemas; mecánico, electrónico y por último el subsistema de interfaz de visualización y registro.

Estas tres secciones trabajan en conjunto de manera integrada para ofrecer una solución para la medición del ángulo de diferentes articulaciones del cuerpo humano, a través de la adquisición y transformación de datos digitales, que resultan en una representación amigable y cómoda que facilita la evaluación del rango de movimiento por parte de profesionales de la salud, que, a su vez, requieren registrar los datos de manera eficiente para realizar análisis posteriores.

1.9.1 Subsistema mecánico

La sección de elementos mecánicos comprende las partes físicas del goniómetro, como su estructura y componentes externos. Está diseñada para proporcionar una forma que permita adaptar la proyección del movimiento de las articulaciones para contribuir a las mediciones. Se conforma de manera general de una porción firme en la que se distribuyen los componentes, y por otro lado contempla elementos como brazos móviles que se desplazan según el movimiento del cuerpo. Para el desarrollo de dichos elementos se ha elegido ocupar un software CAD.

1.9.1.1 Software de diseño asistido por computadora

El CAD es una técnica de análisis, una manera de crear un modelo del comportamiento de un producto aún antes de que se haya construido. Los dibujos en papel pueden no ser necesarios en la fase del diseño.

El sistema CAD se viene desarrollando en forma acelerada y debido al desarrollo del software y hardware su aplicación se está generalizando tanto en el ámbito académico como empresarial.

En el diseño y análisis de componentes es viable una solución analítica o experimental computarizada a un bajo costo y con alto nivel de confiabilidad. Es así que las técnicas de expresión gráfica se han convertido en el mejor lenguaje para la descripción de objetos. (Rojas Lazo & Rojas Rojas, 2006)

SOLIDWORKS® es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño. (SOLID-BI, s.f.)

1.9.2 Subsistema electrónico

La sección de hardware electrónico se encarga de la adquisición de datos y su procesamiento. Incluye sensores o transductores que registran los cambios en la posición de las partes móviles del goniómetro, tal como es un encoder óptico que captura los movimientos y los convierte en señales eléctricas. Además, incorpora un microcontrolador que procesa estas señales para obtener mediciones precisas del ángulo. Para el funcionamiento de los elementos electrónicos es necesario contar también con almacenamiento de energía por medio de una batería, así como el circuito requerido para su carga. Dicha energía también sufre transformaciones mediante convertidores de voltaje que alimentan y permiten la interacción entre los componentes.

Dentro de este subsistema se consideran distintos elementos que poseen diferentes características para ser útiles en la conformación del circuito electrónico.

1.9.2.1 Encoder incremental

Los encoders incrementales son dispositivos electromecánicos que se utilizan como sensores de posición en accionamientos eléctricos. Proporcionan pulsos eléctricos cuando su eje está girando. El número de pulsos es proporcional a la posición angular del eje.

Los codificadores incrementales se fabrican utilizando diferentes tecnologías: ópticos, electromecánicos, magnéticos, etc. Los codificadores ópticos son los más difundidos.

En el eje del encoder óptico se fija un disco rotor transparente (generalmente de vidrio) con una pista de graduación circular realizada como una secuencia periódica de zonas radiales transparentes y no transparentes.

En un lado del disco, montado en la parte fija del encoder (estator), hay fuentes de luz. El haz de luz emitido atraviesa la zona de graduación del disco y luego es detectado por un grupo de sensores ópticos. Si el eje está girando, la graduación modula el haz de luz. Circuitos electrónicos procesan las salidas de los sensores de luz y generan pulsos eléctricos en la salida del codificador. (Incze, Szabó, & Imecs, 2010)

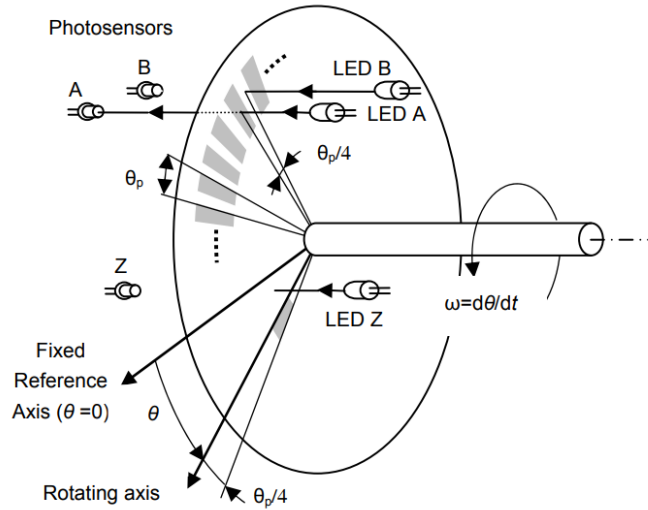


Figura 7. Principio de construcción del encoder incremental: las superficies color gris son ópticamente transparentes. Tomado de (Incze, Szabó, & Imecs, 2010).

Para tener una referencia angular de la posición del eje del encoder y saber la dirección en que está girando, el encoder incremental utiliza dos señales eléctricas pulsantes llamadas A y B. Dependiendo de la fase en que se encuentren dichas señales, se determinará si el encoder está girando en sentido horario o antihorario, (CW, es decir, 'clockwise', CCW, 'counterclockwise'). Las señales A y B entonces además de indicar la cantidad de pulsos generados se encuentran desfasados en un cuarto de periodo, lo que permite determinar la dirección de giro del encoder al analizar el estado de los estados en los diferentes flancos que tomemos en cuenta para esta determinación del sentido.

La Figura 8 nos muestra de manera general el comportamiento de los pulsos de onda cuadrada que se generan en un encoder incremental.

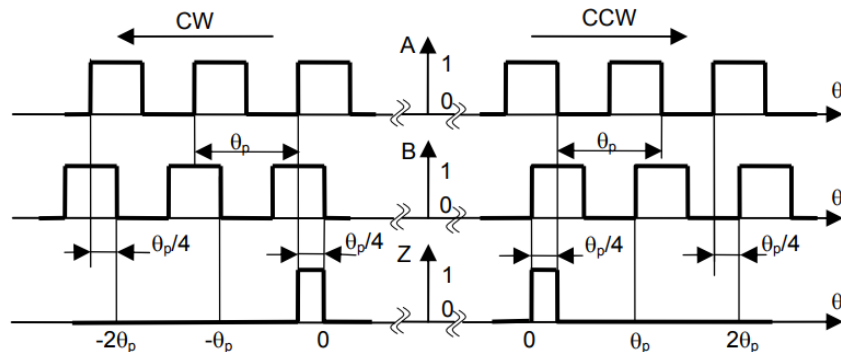


Figura 8. Diagrama de las señales de salida generadas por el encoder incremental para rotación en sentido antihorario (CCW) y horario (CW). Tomado de (Incze, Szabó, & Imecs, 2010).

1.9.2.2 Circuito integrado de carga y descarga de baterías de litio

Las baterías tanto tubulares como planas de Litio, LiPo y LiFePo4 pueden incorporar un circuito de protección de carga y descarga denominado BMS/PCM.

PCM: Módulo de circuito de protección.

BMS: Sistema de administración de batería.

Estos circuitos se encargan de controlar cuándo la batería o conjunto de celdas no debe descargarse, cortando la tensión de salida y en qué momento se ha cargado suficientemente, cortando la tensión excesiva de entrada, estos también controlan las fases de carga y goteo. También permite que circule tensión de la batería a la carga hasta que la tensión disminuya a valores peligroso para la vida de las celdas 2.75 V o 2.0 V, en ese momento, el PCM impide la descarga y la alimentación/drenaje queda cortado.

En el momento de la carga funciona, al contrario, cuando cada una de las celdas de 3.2 V o 3.7 V. ha alcanzado la tensión de 3.6 V o 4.22 V, el circuito corta la entrada de corriente y goteo, permitiendo la descarga, pero no la carga. (Enix Power Solutions, s.f.)

1.9.2.3 Convertidor elevador de voltaje

El convertidor tipo Boost es un circuito elevador de tensión, que usa las características del inductor y el capacitor como elementos almacenadores de energía para elevar la corriente proveniente de la fuente de alimentación y usarla para inyectarla al condensador, produciendo así niveles de voltaje mayores en la carga que los de la fuente. El interruptor en el esquema de la Figura 9, consiste de dos elementos: un elemento de conmutación rápida como un transistor BJT, un Mosfet o el más comúnmente usado el IGBT y el otro, un diodo con un tiempo de recuperación mucho menor que el periodo de la señal de control; la función de éste último, es impedir que la corriente de descarga del condensador se devuelva, ya que se desea que cuando la fuente se desconecta del condensador y de la resistencia de carga para almacenar energía en la bobina, se suministre corriente a la carga mediante la descarga del condensador. (Valderrama, Moreno, & Vega, 2011)

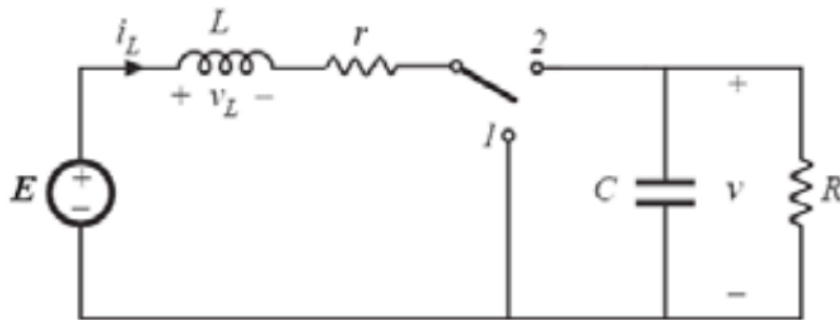


Figura 9. Circuito básico elevador de tensión.

1.9.2.4 Microcontrolador

Un controlador se utiliza para controlar algún proceso. En un momento, los controladores se construyeron exclusivamente a partir de componentes lógicos y, por lo general, eran cajas grandes y pesadas. Más tarde, se utilizaron microprocesadores y todo el controlador cabía en una pequeña placa de circuito. Esto sigue siendo común: uno puede encontrar muchos controladores alimentados por uno de los muchos microprocesadores comunes (incluidos Zilog Z80®, Intel 8088®, Motorola 6809® y otros).

A medida que continuaba el proceso de miniaturización, todos los componentes necesarios para un controlador se integraron en un solo chip. Nació una computadora de un solo chip, o microcontrolador. Una CPU integrada en un solo chip VLSI se llama microprocesador. Una computadora digital que tiene un microprocesador como CPU junto con dispositivos de E/S y memoria se conoce como microcomputadora.

Un microcontrolador es un chip altamente integrado que incluye, en un solo chip, todas o la mayoría de las piezas necesarias para un controlador. El microcontrolador podría llamarse una "solución de un chip". Por lo general, incluye: CPU (unidad central de procesamiento), RAM (memoria de acceso aleatorio), EPROM/PROM/ROM (memoria de solo lectura programable borrable), I/O (entrada/salida).

Al incluir solo las características específicas de la tarea (control), el costo es relativamente bajo. Un microcontrolador típico tiene instrucciones de manipulación de bits, acceso fácil y directo a E/S (entrada/salida) y procesamiento de interrupciones rápido y eficiente. Los microcontroladores son una "solución de un solo chip" que reduce drásticamente el número de piezas y los costos de diseño. (Yadav & Singh, 2004)

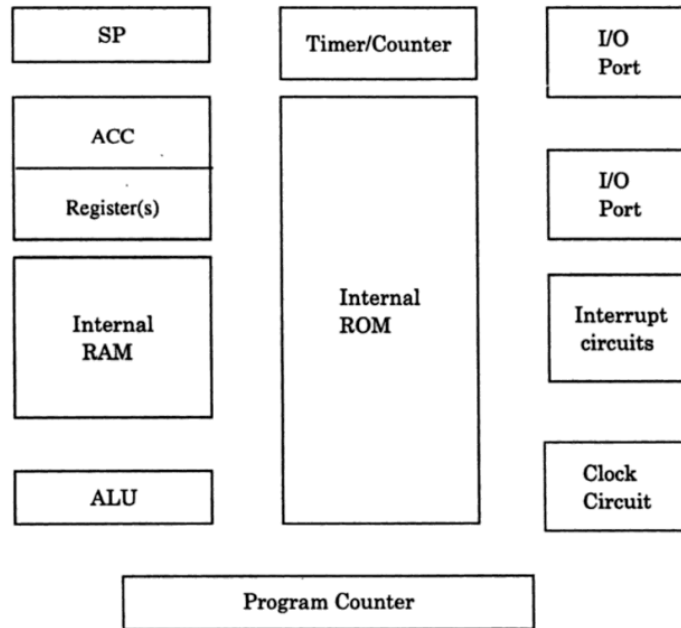


Figura 10. Diagrama de componentes básicos de un microcontrolador. Tomado de (Yadav & Singh, 2004).

1.9.2.5 IDE (Integrated Development Environment)

Cuando es requerido realizar un desarrollo en el que se haga uso de programación lo más adecuado es ocupar un IDE dado que al mismo tiempo de existir de diferentes tipos orientados a diferentes lenguajes y objetivos de programación ofrecen una amplia lista de herramientas que favorecen el flujo de trabajo del programador.

Un entorno de desarrollo integrado (IDE) es una aplicación de software que proporciona un entorno de programación para simplificar el desarrollo de software y su depuración. Además, permite que se realicen todos los pasos necesarios para realizar un programa ejecutable.

Actualmente ya no se concibe la idea de programar sin herramientas que faciliten el desarrollo de sistemas, por tal motivo se debe elegir el entorno que más se adapte a las necesidades del proyecto. (Ponce Briones, 2016)

MPLAB X®.

MPLAB X Integrated Development Environment® (IDE) es un programa de software ampliable y altamente configurable que incorpora potentes herramientas para ayudarlo a descubrir, configurar, desarrollar, depurar y calificar diseños integrados para la mayoría de nuestros microcontroladores y controladores de señales digitales. MPLAB X IDE ® funciona a la perfección con el ecosistema de desarrollo de software y herramientas de MPLAB, muchas de las cuales son completamente gratuitas. (Microchip Technology Inc., 2023)

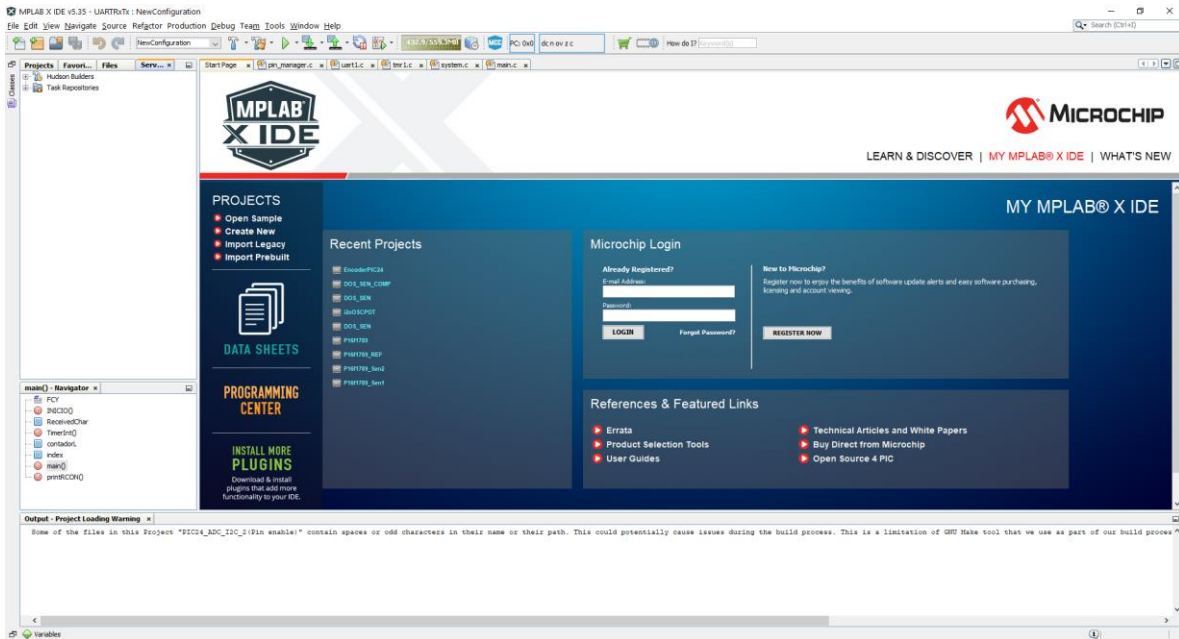


Figura 11. Entorno del software MPLAB X IDE.

XC16® Compiler.

Dentro del IDE necesitamos integrar el compilador que en este caso ya que se eligió el lenguaje de programación, entre las opciones tenemos el compilador XC16.

La última línea de compiladores de Microchip, MPLAB® XC, ofrece una solución completa para las necesidades de software de desarrollo de su proyecto y reemplaza a todos los compiladores MPLAB® C y HI-TECH®.

El compilador MPLAB XC16 C ® es un compilador de optimización con funciones completas que traduce los programas ANSI C estándar a una fuente de lenguaje ensamblador de dispositivos de 16 bits. El compilador también es compatible con muchas opciones de línea de comandos y extensiones de lenguaje que permiten el acceso completo a las capacidades de hardware del dispositivo de 16 bits y permite un control preciso del compilador generador de códigos. El compilador es un puerto del compilador GNU Compiler Collection (GCC) de la Free Software Foundation. El compilador está disponible para varios sistemas operativos populares, incluidos Windows® OS de 32 y 64 bits, Linux® OS y Mac® OS X®.

El compilador es un compilador completamente validado que cumple con el estándar ANSI C según lo define la especificación ANSI (ANSI x3.159-1989) y se describe en The C Programming Language de Kernighan y Ritchie (segunda edición). El estándar ANSI incluye extensiones a la definición C original que ahora son características estándar del lenguaje. Estas extensiones mejoran la portabilidad y ofrecen una mayor capacidad. Además, se incluyen extensiones de idioma para aplicaciones de control incorporado dsPIC DSC. (Microchip Technology Inc., 2022)

1.9.2.6 Protocolo UART

El protocolo UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) es un protocolo de comunicación en serie utilizado para la transmisión de datos entre dispositivos electrónicos. Fue desarrollado para permitir la comunicación entre diferentes componentes en un sistema electrónico, como microcontroladores, sensores, actuadores y otros dispositivos periféricos.

El UART es un protocolo asíncrono, lo que significa que no se requiere una señal de reloj compartida entre el transmisor y el receptor para sincronizar la comunicación. En su lugar, se utiliza una señal de inicio y una tasa de baudios (o velocidad de transmisión) predefinida para establecer la sincronización.

El protocolo UART utiliza dos líneas de comunicación principales:

- Línea de transmisión (TX): Es la línea utilizada por el transmisor para enviar los datos. El transmisor convierte los datos en bits y los transmite secuencialmente en forma de tramas.
- Línea de recepción (RX): Es la línea utilizada por el receptor para recibir los datos transmitidos. El receptor decodifica los bits recibidos de la trama y los reconstruye en bytes de datos.

Las líneas de transmisión se conectan vinculando la terminal TX del dispositivo 1 con la línea RX del dispositivo 2, de igual manera la terminal RX del dispositivo 1 debe encontrarse conectada a la terminal TX del dispositivo 2.

El protocolo UART transmite los datos en forma de tramas. Cada trama consta de los siguientes elementos:

- Bit de inicio: Es un bit de nivel lógico bajo que indica el comienzo de la trama. Sirve para sincronizar el receptor y prepararlo para recibir los bits de datos.
- Bits de datos: Son los bits que contienen la información transmitida. El número de bits de datos por trama puede ser generalmente de 5, 6, 7 u 8 bits, dependiendo de la configuración del UART.
- Bit de paridad (opcional): Es un bit opcional utilizado para verificar la integridad de los datos transmitidos. Puede ser de paridad par o paridad impar, y se utiliza para detectar errores de transmisión.
- Bits de parada: Son uno o más bits de nivel lógico alto que indican el final de la trama. Sirven para permitir que el receptor se prepare para recibir la próxima trama.

Después de la transmisión de una trama, el protocolo UART espera un tiempo mínimo antes de comenzar la transmisión de la siguiente trama, esto permite una separación entre las tramas transmitidas.

En la comunicación UART, tanto el transmisor como el receptor deben configurarse para usar la misma velocidad de transmisión (*baud rate*). El baud rate se refiere a la cantidad de bits transmitidos por segundo y se mide en baudios. Al establecer una velocidad de transmisión común, los dispositivos pueden sincronizarse correctamente durante la comunicación.



Figura 12. Trama de una transmisión UART. Tomado de (J. Norhuzaimin, 2005)

1.9.2.7 Comunicación inalámbrica

Los diferentes tipos de comunicaciones inalámbricas funcionan mediante la transmisión de ondas electromagnéticas entre dispositivos. Estas ondas electromagnéticas pueden ser de diferentes frecuencias y longitudes de onda, y se utilizan para transmitir diferentes tipos de información. La información se codifica en las ondas electromagnéticas mediante la modulación, que es el proceso de cambiar alguna propiedad de la onda para representar la información. Una vez que se ha codificado la información en las ondas electromagnéticas, estas se transmiten a través del aire hasta el dispositivo receptor, donde se decodifican para recuperar la información original.

Comunicación Bluetooth

La tecnología inalámbrica Bluetooth está diseñada como una solución de conectividad de corto alcance para dispositivos electrónicos personales, portátiles y dispositivos de mano. Desde mayo de 1998, Bluetooth® SIG ha dirigido el desarrollo de la tecnología a través del desarrollo de una especificación industrial abierta, que incluye protocolos y escenarios de aplicación, y un programa de calificación diseñado para asegurar el valor del usuario final para los productos Bluetooth. (Bisdikian, 2001)

La tecnología bluetooth se ha orientado a dos estándares:

- **Bluetooth® Classic:** Es una radio de baja potencia que transmite datos a través de 79 canales en la banda de frecuencia industrial, científica y médica (ISM) sin licencia de 2,4 GHz. Compatible con la comunicación de dispositivos punto a punto, Bluetooth Classic se utiliza principalmente para permitir la transmisión inalámbrica de audio y se ha convertido en el protocolo

de radio estándar detrás de los altavoces inalámbricos, los auriculares y los sistemas de entretenimiento en el automóvil. La radio Bluetooth® Classic también permite aplicaciones de transferencia de datos, incluida la impresión móvil.

- **Bluetooth® Low Energy (LE):** La radio Bluetooth Low Energy (LE) está diseñada para un funcionamiento de muy baja potencia. Al transmitir datos en más de 40 canales en la banda de frecuencia ISM sin licencia de 2,4 GHz, la radio Bluetooth LE brinda a los desarrolladores una gran flexibilidad para crear productos que cumplan con los requisitos de conectividad únicos de su mercado. Bluetooth® LE admite múltiples topologías de comunicación, expandiéndose de punto a punto a transmisión y, más recientemente, en malla, lo que permite que la tecnología Bluetooth® admita la creación de redes de dispositivos confiables a gran escala. Si bien inicialmente fue conocido por sus capacidades de comunicación de dispositivos, Bluetooth® LE ahora también se usa ampliamente como una tecnología de posicionamiento de dispositivos para abordar la creciente demanda de servicios de ubicación en interiores de alta precisión. Bluetooth® LE ahora incluye funciones que permiten que un dispositivo determine la presencia, la distancia y la dirección de otro dispositivo. (Bluetooth SIG, Inc., 2023)



Figura 13. Topología de la tecnología Bluetooth®. a) Bluetooth Classic, b) Bluetooth Low Energy. Tomado de (Bluetooth SIG, Inc., 2023)

1.9.2.8 Software de diseño de PCB

Aunque es posible realizar un diseño de una placa de circuito impreso de manera manual, este método requiere mucho tiempo, esfuerzo, recursos y pruebas de funcionamiento además de una mayor probabilidad de errores en el desarrollo. Para esto se cuenta con distintos programas de computadora que además de agilizar el trabajo en el diseño lo vuelve una herramienta de amplia utilidad para minimizar errores, y ahorran mucho tiempo y recursos en las pruebas de un funcionamiento adecuado, inclusive, es común encontrar herramientas de simulación del circuito en algunos de estos softwares dedicados, de manera general se pueden mencionar algunos como Eagle®, Altium®, EasyEDA®, KiCad®.

EasyEDA® es una herramienta de diseño de PCB en línea más fácil y potente que permite a los ingenieros electrónicos, educadores, estudiantes, fabricantes y entusiastas diseñar y compartir sus proyectos. Esta es una herramienta de diseño integrada con el catálogo de componentes de LCSC y el servicio de PCB de JLCPCB®, que ayuda a los usuarios a ahorrar tiempo para convertir sus ideas en productos reales.

Características generales:

- Capacidades generales de dibujo simples, más fáciles, amigables y potentes.
- Captura de esquemas
- Diseño de PCB
- Cooperación en equipo en tiempo real
- Compartir en línea
- Miles de proyectos de código abierto
- Enlaces directos a componentes de LCSC para selección
- Fabricación de PCB integrada
- Importar Altium®/Kicad®/Eagle®, PNG, DXF
- Más de 1 millón de bibliotecas gratuitas
- Proporciona API
- Soporte de scripts. (EasyEDA, s.f.)

1.9.3 Subsistema de interfaz de visualización y registro

El subsistema de interfaz de visualización y registro se encarga de procesar y presentar los datos recopilados de manera clara y comprensible para el usuario. Este software se ejecuta en una computadora externa conectada a través de una comunicación inalámbrica basada en el estándar Bluetooth®. Proporciona una interfaz gráfica intuitiva que muestra el ángulo medido y apoya al profesional de la salud a realizar mediciones, adjuntar notas y ajustar configuraciones según sea necesario. Además, ofrece opciones de registro y almacenamiento de los datos obtenidos para su posterior análisis y seguimiento.

1.9.3.1 Software de escritorio

Cuando hablamos del término 'software' nos referimos a un concepto que puede abarcar aplicaciones, programas o scripts que se ejecutan en una computadora o en algún otro dispositivo programable. Cuando incluimos el término "de escritorio" hacemos referencia a aquel software que se ejecuta directamente en una computadora sin necesidad de mantener una conexión a internet o a otros recursos externos. La etiqueta "de escritorio" proviene originalmente de la época en la que no eran comunes las computadoras portátiles/laptops. Estos programas se

desarrollan para sistemas específicos que generalmente se tratan de Linux, Windows® o Mac OS®.

Windows Forms®.

Windows Forms® es un framework de interfaz de usuario para crear aplicaciones de escritorio de Windows. Proporciona una de las formas más productivas de crear aplicaciones de escritorio basadas en el diseñador visual proporcionado en Visual Studio®. La funcionalidad, como la colocación de controles visuales mediante arrastrar y soltar, facilita la creación de aplicaciones de escritorio.

Con Windows Forms®, desarrolla aplicaciones ricas en gráficos que son fáciles de implementar, actualizar y trabajar sin conexión o mientras está conectado a Internet. Las aplicaciones de Windows Forms pueden acceder al hardware local y al sistema de archivos de la computadora donde se ejecuta la aplicación.

Windows Forms® es una tecnología de interfaz de usuario para .NET®, un conjunto de bibliotecas administradas que simplifican las tareas comunes de las aplicaciones, como leer y escribir en el sistema de archivos. Cuando usa un entorno de desarrollo como Visual Studio®, puede crear aplicaciones de cliente inteligente de Windows Forms que muestran información, solicitan información de los usuarios y se comunican con computadoras remotas a través de una red.

En Windows Forms®, un form es una superficie visual en la que se muestra información al usuario. Por lo general, crea aplicaciones de Windows Forms® agregando controles a los formularios y desarrollando respuestas a las acciones del usuario, como clics del mouse o pulsaciones de teclas. Un control es un elemento discreto de la interfaz de usuario que muestra datos o acepta la entrada de datos.

Cuando un usuario hace algo en su formulario o en uno de sus controles, la acción genera un evento. Su aplicación reacciona a estos eventos con código y los procesa cuando ocurren.

Windows Forms® contiene una variedad de controles que puede agregar a los formularios: controles que muestran cuadros de texto, botones, cuadros desplegables, botones de opción e incluso páginas web. Si un control existente no satisface sus necesidades, Windows Forms también admite la creación de sus propios controles personalizados mediante la clase UserControl.

Con el Diseñador de Windows Forms® de arrastrar y soltar en Visual Studio®, puede crear fácilmente aplicaciones de Windows Forms®. Simplemente seleccione los controles con el cursor y colóquelos donde desee en el formulario. El diseñador proporciona herramientas como líneas de cuadrícula y líneas de ajuste para eliminar la molestia de alinear los controles. Puede usar los controles FlowLayoutPanel, TableLayoutPanel y SplitContainer para crear diseños de formulario avanzados en menos tiempo. (Microsoft©, 2023)

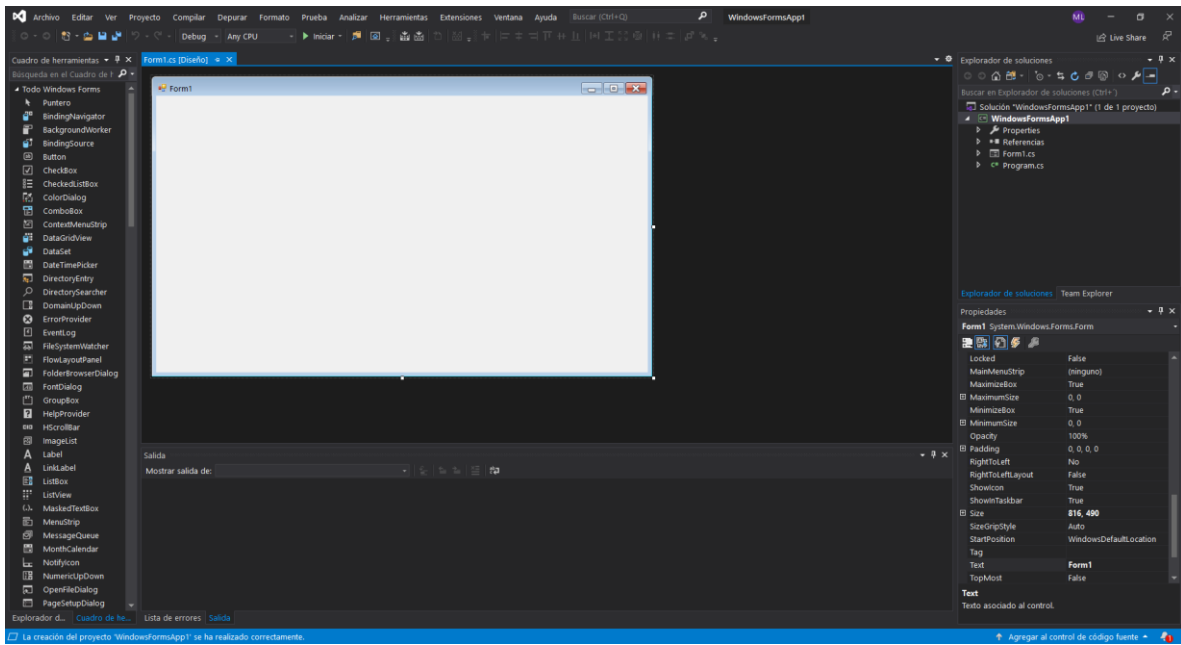


Figura 14. Entorno inicial de Windows Forms en Visual Studio 2019.

Capítulo II. Desarrollo y construcción

En este capítulo se exponen distintos componentes que conforman el goniómetro digital propuesto que, ser integrados con elementos de diseño electrónico, diseño en software y diseño de partes mecánicas constituyen el prototipo en el que se centra este documento.

2.1 Incorporación del transductor para adquirir una separación angular

El problema inicial del desarrollo del prototipo que se implementa fue la capacidad de identificar y elegir un dispositivo que detecte un cambio de ángulo de manera confiable en diferentes situaciones, sin que la respuesta presente inconsistencias considerables.

En un primer momento se consideró la realización de pruebas con métodos inerciales como el uso de acelerómetros que al analizar la respuesta se notó rápidamente la diferencia de valores devueltos al repetir mediciones. Por otro lado, este método requería establecer condiciones más específicas para considerar la medición, entre las que podemos mencionar: posición inicial de la articulación, inclinación del movimiento, rapidez del movimiento. Lo anterior llevó a buscar otro tipo de dispositivo que pudiera ofrecer respuestas más adecuadas a una medición confiable, entre estas opciones se consideró el uso de un encoder óptico incremental. Estos dispositivos cuentan con diferentes presentaciones de resolución. Durante las pruebas iniciales se consideró el uso de un encoder que ofrecía 360 pulsos por vuelta (pulses per revolution), con lo cual aumentaba la información detectando los cambios de ángulo en incrementos más pequeños. En cuanto a la consistencia de mediciones se encontró un buen desempeño en diferentes situaciones y velocidades de movimiento, lo que permitía una interpretación más confiable del movimiento rotacional.

El encoder que se contempla es el modelo ES38 06G360-BST5 de la marca CALT®.



Figura 15. Encoder óptico incremental de la serie ES38. Tomado de (CALT®, 2021)

Este modelo cuenta con las siguientes características:

Características eléctricas:

- Voltaje de alimentación: 5 V
- Consumo de corriente ≤ 80 mA
- Salida en 'alto': Mínimo $V_{cc}-2.5$ V

- Salida en 'bajo': Máximo 0.4 V
- Tiempo de subida: Máximo 1 μ s
- Tiempo de bajada: Máximo 1 μ s
- Respuesta a la frecuencia más alta: 100 kHz

Características mecánicas:

- Velocidad máxima del eje: 3000 rpm
- Máxima carga del eje: Radial: 25 N, Axial: 15 N
- Peso: 100 g. (CALT©, 2021)

Para entender el encoder y sus canales de salida A y B es de ayuda observar el comportamiento dividiendo en dos casos para cada sentido de giro del eje de este encoder.

Para el sentido 1 (CW) podemos ver la siguiente salida:

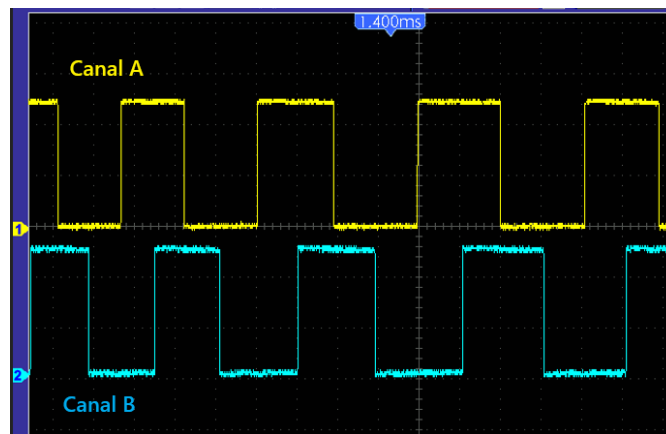


Figura 16. Secuencia de pulsos del encoder para el caso CW. Captado con osciloscopio Hantek® DSO404072C

Como se observa, en cada secuencia se tiene primero un flanco ascendente en el canal A y posteriormente se encuentra este flanco en el canal B.

Para el sentido 2 (CCW) podemos ver la siguiente salida:

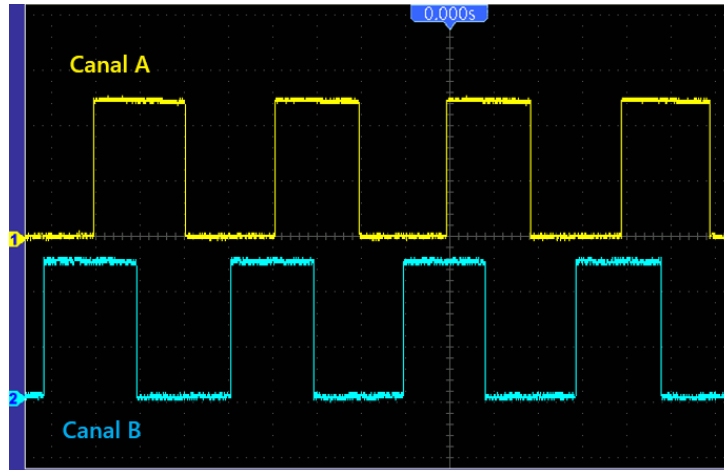


Figura 17. Secuencia de pulsos del encoder para el caso CCW. Captado con osciloscopio Hantek DSO404072C.

De forma contraria ahora tenemos un flanco ascendente en el canal B y posteriormente en el canal A.

Podemos comprobar que en ambos casos tenemos un desfase de $\frac{1}{4}$ del periodo entredichas transiciones, comprobando lo mostrado en la Figura 8.

2.2 Integración de un microcontrolador adecuado

Para darle sentido a las señales eléctricas que genera el encoder al hacer girar su eje es necesario un dispositivo que sea capaz de admitir estas ondas y convertirlas a información digital.

Para esto se considera un microcontrolador como la opción más adecuada. Entre los microcontroladores tenemos diferentes marcas tales como Microchip®, Atmel®, Texas Instruments®, ST®, NXP®, entre otros.

Entre la exploración de diferentes modelos en el mercado se optó por el modelo PIC24EP128MC202 de Microchip Technology.



Figura 18. Microcontrolador PIC24EP128MC202. Tomado de (Microchip Technology Inc., 2023)

Las características de este dispositivo se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características del Microcontrolador PIC24EP128MC202. Tomado de (Microchip Technology Inc., 2023)

CPU Type	16-bit PIC MCU
CPU Speed (MHz)	70
Program Memory Size (KB)	128
Multiple Flash Panels	No
Direct Memory Access (DMA) Channels	4
Temp. Range Min.(C°)	-40
Temp. Range Max.(C°)	125
Operation Voltage Min.(V)	3
Operation Voltage Max.(V)	3.6
Pin Count	28
Low Power	No
Number of Comparators	3
Number of ADCs	1
ADC Channels	6
Max ADC Resolution (bits)	12
Max ADC Sampling Rate (ksps)	500
Number of DACs	1
DAC outputs	0
Max DAC Resolution (bits)	4
Hardware RTCC	No
Motor Control PWM Channels	6
SMPS PWM Channels	0
Number of PWM Time Bases	2
Output Compare Channels	4
Quadrature Encoder Interface (QEI)	1
LCD/Graphics Interface	No
Configurable Logic Cell Modules (CLC /CCL)	0
Supported in MPLAB Code Configurator	Yes

Notando en la tabla 1 la característica resaltada es la incorporación de un módulo denominado “Quadrature Encoder Interface”

El módulo de interfaz de encoder de cuadratura (QEI) proporciona la interfaz a los encoders incrementales para obtener datos de posición mecánica. Los encoders de cuadratura, también conocidos como encoders incrementales o encoders ópticos, detectan la posición y la velocidad de los sistemas de movimiento giratorio. Los canales de Fase A y Fase B tienen una relación única. Si la fase A adelanta a la

fase B, la dirección del motor se considera positiva o directa. Si la Fase A se retrasa con respecto a la Fase B, la dirección del motor se considera negativa o inversa. El pulso de índice ocurre una vez por revolución mecánica y se usa como referencia para indicar una posición absoluta. Para ver un diagrama de tiempo relativo de estas tres señales, véase la Figura 19. Las señales de cuadratura producidas por el encoder pueden tener cuatro estados únicos (01, 00, 10 y 11) que reflejan la relación entre QEAx y QEBx. La Figura 19 muestra estos estados para un ciclo de conteo. El orden de los estados se invierte cuando cambia la dirección de viaje. El decodificador de cuadratura incrementa o decrementa el contador ascendente/descendente de 16 bits (POSxCNT) para cada cambio de estado. El contador aumenta cuando QEAx adelanta a QEBx y decrementa cuando QEBx adelanta a QEAx. (Microchip Technology Inc., 2007)

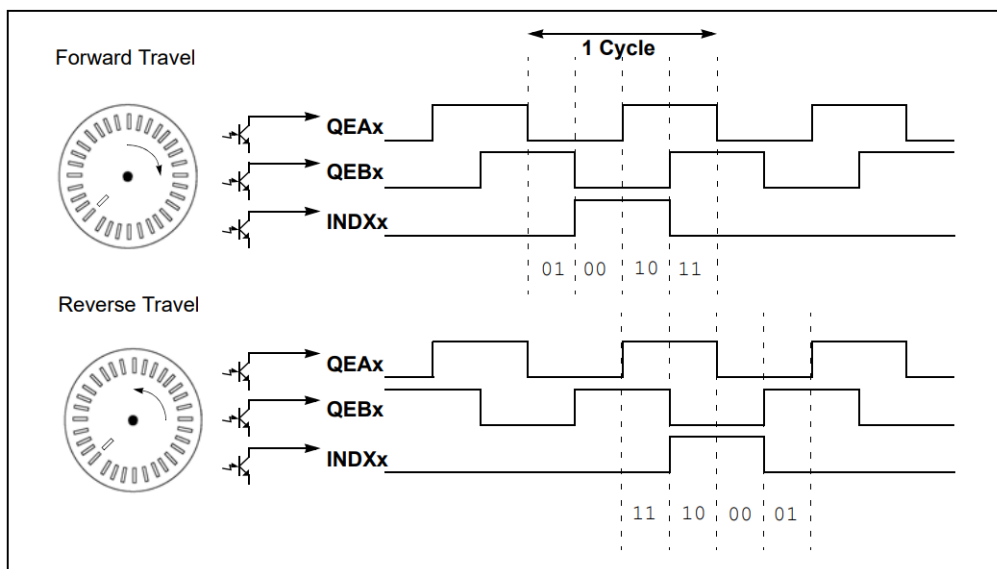


Figura 19. Señales de interfaz de encoder de cuadratura. Tomado de (Microchip Technology Inc., 2007)

Como vemos, a lo largo de un ciclo, o una vuelta se consiguen 4 estados posibles, con esta detección finalmente se pueden detectar movimientos más pequeños en el movimiento angular. Con esto el encoder ES38 06G360-BST5 que tiene 360 pulsos por vuelta, el módulo QEI es capaz de detectar cambios de valor 0.25 grados.

Para el uso del encoder ES38 06G360-BST5 ya que no cuenta con la salida de "ZERO" o "Index" basta con indicarlo por medio de programación para que no considere un reinicio en los registros de contador.

En la Figura 20 se muestra el diagrama del funcionamiento del módulo QEI de Microchip con el que se puede entender mejor la interfaz y cómo llega la información al registro de contador ascendente/ descendente de 16 bits.

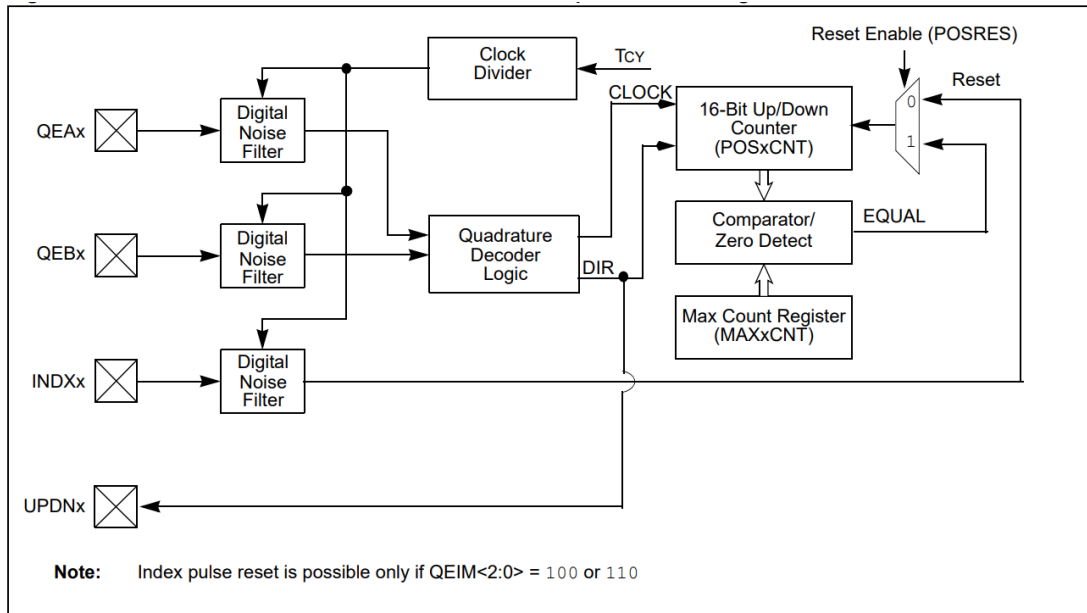


Figura 20. Diagrama simplificado de la interfaz de encoder de cuadratura del microcontrolador PIC24EP128MC202. Tomado de (Microchip Technology Inc., 2007)

2.3 Elección de un módulo de comunicación inalámbrica

Antes de desarrollar el algoritmo para adquirir y almacenar la información perteneciente a la cantidad de pulsos que ha contado el módulo QEI, es necesario contemplar el módulo de comunicación Bluetooth para el uso inalámbrico.

En primer lugar, se consideró el módulo HM-10, un módulo que implementa el estándar Bluetooth Low Energy®, cuyas características se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros del módulo Bluetooth HM-10. Tomado de (DSD TECH, 2017)

BT Version	Bluetooth Specification V4.0 BLE
Working Frequency	2.4 GHz ISM Band
RF Power	-23 dbm, -6dbm, 0dbm, 6 dbm
Power	+2.5 V~3.3 V DC 50 mA
Current	Active state: 8.5 mA; Sleep state 50~200 μ A
Working Temperature	-20~+95 Centigrade

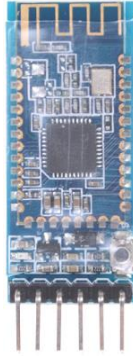


Figura 21. Módulo Bluetooth HM-10. Tomado de (Components101, 2020)

Los dispositivos BLE (Bluetooth Low Energy®) son ideales en aplicaciones de circuitos energizados por baterías dado a su bajo consumo de corriente lo cual contribuye a un mejor rendimiento de la energía portátil, sin embargo, para este proyecto no ha podido ser integrado debido principalmente a una diferencia de emparejamiento frente a versiones anteriores del estándar Bluetooth.

La diferencia en el esquema de emparejamiento mencionada previamente reduce la compatibilidad con recursos integrados del framework .NET® para Windows Forms®.

Se prefiere mantener la compatibilidad con los recursos nativos del framework .NET® para minimizar fallos en comunicación, con lo anterior se decide manejar el recurso llamado *SerialPort Class*, la cuál es compatible con módulos de Bluetooth® 2.0.

La clase *SerialPort* representa un recurso de puerto serie, que es una interfaz para comunicarse con dispositivos periféricos. La clase *SerialPort* permite configurar las propiedades del puerto, como el nombre, la velocidad en baudios, la paridad, los bits de datos y los bits de parada, y también proporciona métodos para leer y escribir datos en el puerto. (Microsoft, 2023)

Dada esta limitación, al no ser compatible el estándar Bluetooth® 4.0 fue necesario contemplar versiones de módulos Bluetooth con tecnologías pasadas, una opción ampliamente usada es el módulo HC-06, que posee los parámetros expuestos en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros del módulo Bluetooth HC-06. Tomado de (Guangzhou HC Information Technology Co., Ltd, 2011)

BT Version	Bluetooth Specification V2.0
Working Frequency	2.4 GHz ISM Band
Power	3.1~4.2 V
Current	30~40 mA
Working Temperature	-25~+75 Centigrade
Range	5~10 m



Figura 22. Módulo Bluetooth HC-06. Tomado de (Components 101, 2018)

Con este módulo es posible crear una comunicación que la computadora puede interpretar como un puerto serial apto para uso con la clase *SerialPort* dentro del entorno de Windows Forms®.

Para vincular este módulo al microcontrolador PIC se hace uso del protocolo UART. Para esta comunicación se ajustan los parámetros que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Parámetros de la comunicación UART.

Tasa de baudios	9600
Bits de datos	8 bits
Paridad	No
Bits de paro	1

Una vez explorado el módulo que se integrará en el proyecto y los parámetros para la conexión UART con el microcontrolador se diseña un algoritmo para adquirir y almacenar los datos correspondientes a la cantidad de pulsos que el encoder incremental ha generado y el módulo QEI ha detectado.

Dicho algoritmo se presentará en la Figura 23 en forma de diagrama de flujo.

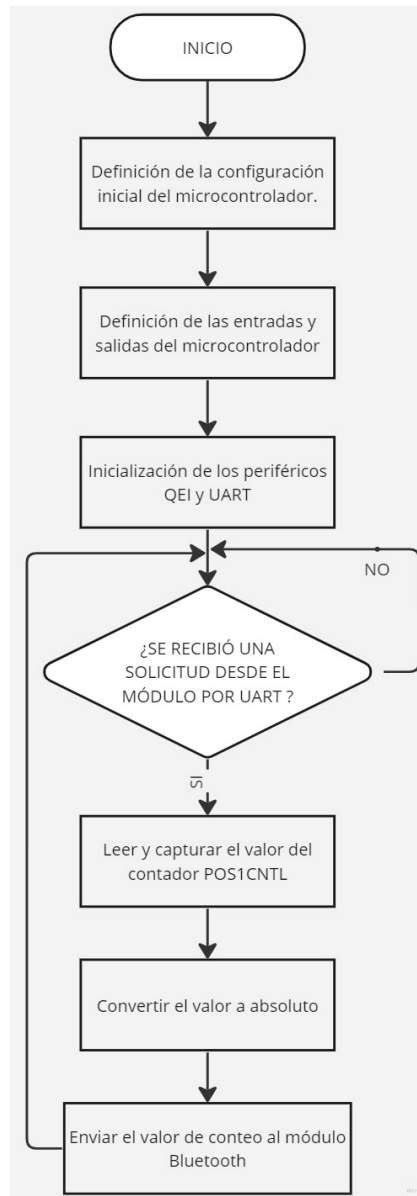


Figura 23. Algoritmo de lectura del contador del módulo QEI y envío al módulo Bluetooth.

El algoritmo se implementa en código al microcontrolador PIC24EP128MC202 usando el software MPLAB X®. El código que se integra al microcontrolador PIC24EP128MC202 se ubica en el Anexo A.

2.4 Desarrollo del software de escritorio

Para la comunicación con el software de escritorio se contempla un algoritmo que ayuda a tener mayor control sobre el flujo de datos además de que la computadora puede conseguir detectar una desconexión de la comunicación de manera más eficaz.

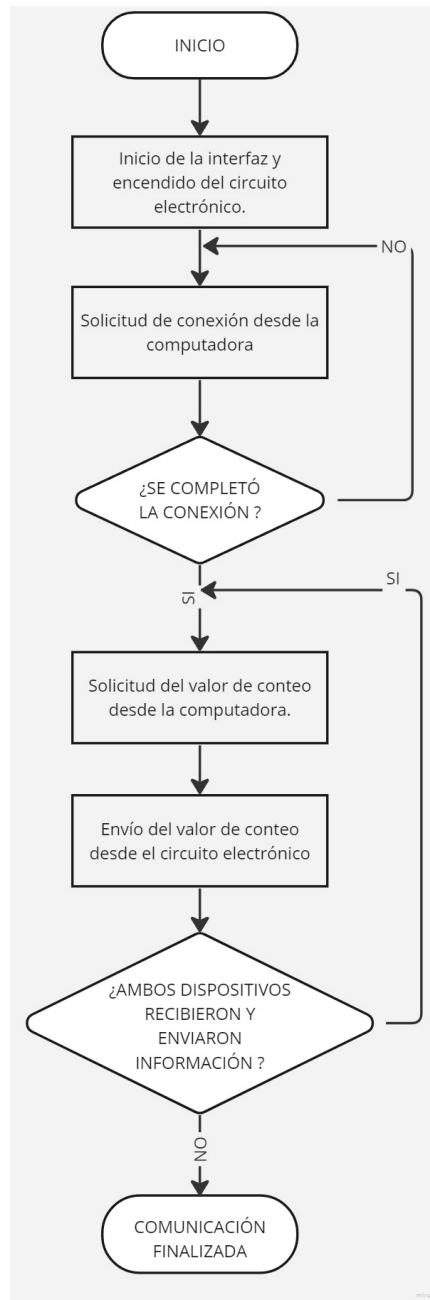


Figura 24. Algoritmo para la comunicación circuito-computadora.

En este esquema de comunicación es necesario que la computadora envíe en primer lugar la solicitud del valor de conteo, a lo que el circuito es capaz de detectar esta solicitud y hacer el envío, una vez que la computadora ha recibido este dato, es hasta entonces que realiza una nueva solicitud.

Con este algoritmo minimizamos la pérdida de información y aumentamos el control sobre el flujo de los datos, lo anterior también es útil en cuestión de evitar consumo computacional innecesario en ambos procesadores.

El software de escritorio se ha desarrollado sobre el IDE Visual Studio® 2019 Community Edition y actúa como una interfaz gráfica que muestra de manera

dinámica el valor del ángulo actual, además de permitir un registro de lecturas realizadas.

El diseño de la apariencia de la interfaz se muestra en la Figura 25.

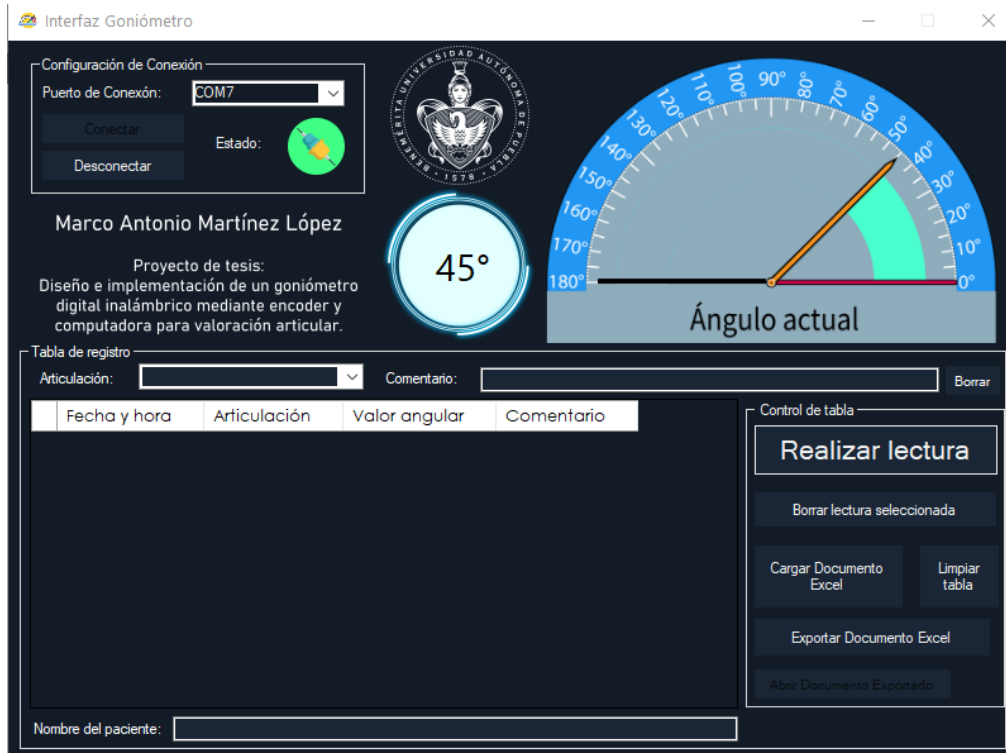


Figura 25. Vista de la interfaz para la visualización del ángulo medido.

Este software de escritorio puede seccionarse en 3 apartados:

- Sección de comunicación.
- Sección de visualización gráfica del ángulo actual.
- Sección de la gestión de la tabla de registro de mediciones.

2.4.1 Sección de comunicación

Como se comentó con anterioridad, se emplea el recurso *serialPort Class*, al mismo tiempo que ajusta con los parámetros revisados en la tabla 4 ya que ambos elementos de la comunicación (módulo Bluetooth y computadora) deben ser establecidos con los mismos ajustes, dada la naturaleza de la comunicación UART. En la Figura 26 se muestra una ilustración de la comunicación inalámbrica.

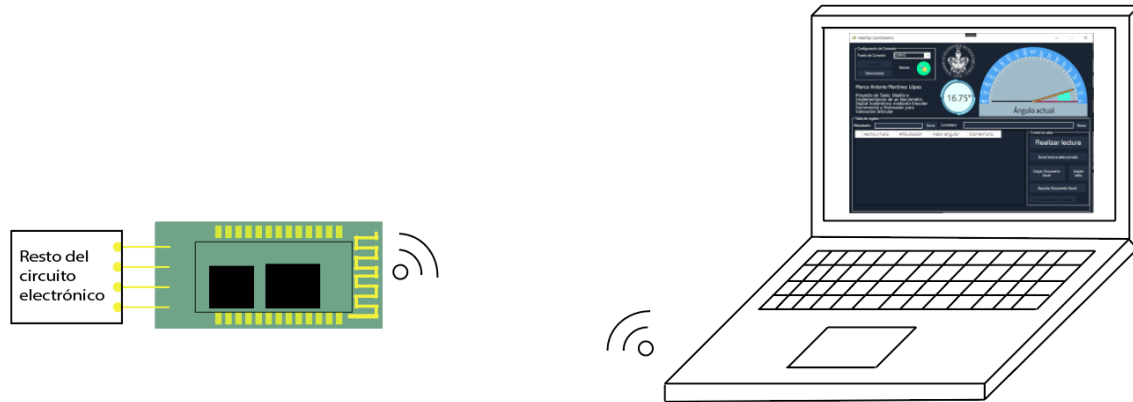


Figura 26. Ilustración de la comunicación inalámbrica.

Para llevar a cabo el enlace debe previamente haberse realizado un emparejamiento por medio del sistema operativo Windows®. Una vez realizado dicho emparejamiento ahora en el software se identifica con un puerto COM.

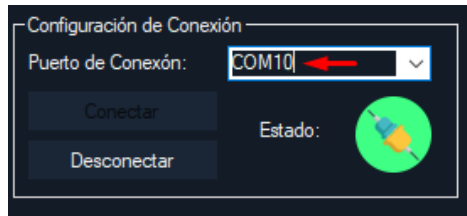


Figura 27. Aparado de comunicación en el software y la identificación del uso de puertos COM.

2.4.2 Sección de visualización gráfica del ángulo actual

Este apartado es la porción que nos proyecta de manera visual el ángulo que se encuentra medido al momento, además se ser acompañado por un indicador numérico.



Figura 28. Gráfica de ángulo actual e indicador numérico.

El cálculo se lleva a cabo en la programación del software mediante la ecuación (1).

$$\theta = \frac{\kappa}{\eta \frac{4}{360^\circ}} \quad (1)$$

Donde:

- θ es el valor en grados del ángulo actual.
- κ es el valor de la variable de conteo recibida desde el circuito electrónico.
- η es el valor nominal de pulsos por vuelta del encoder usado.

Hay que notar que el número 4 se debe a la cantidad de casos posibles de combinación de estados en un periodo de las señales como se observó en la Figura 19.

2.4.3 Sección de la gestión de la tabla de registro de mediciones

Este apartado del software de escritorio se compone de un espacio disponible para generar una tabla de lecturas y acompañado a esto se dispone de una serie de botones que apoyan el manejo de esta tabla.

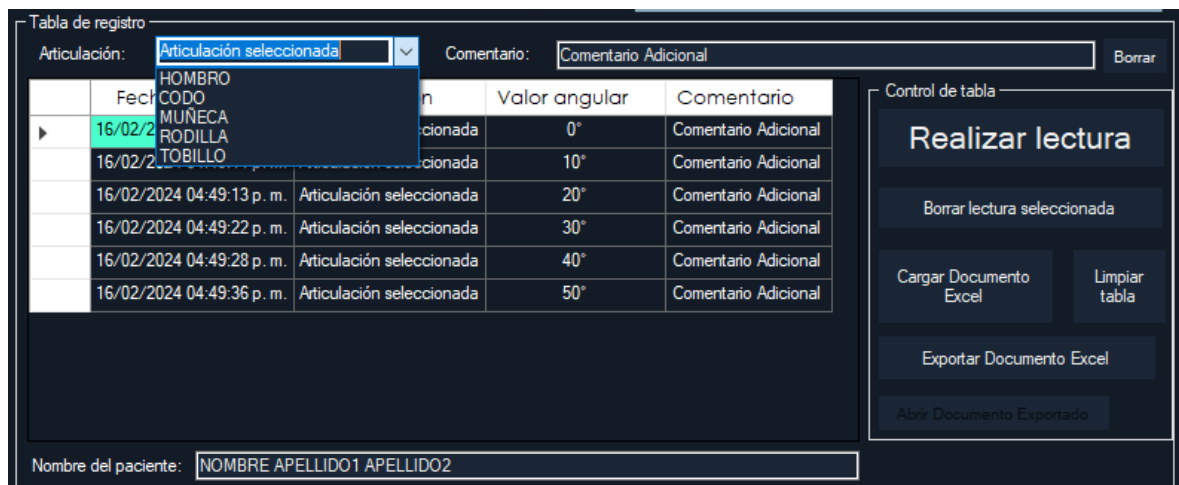


Figura 29. Sección de registro de datos en la interfaz.

Como se observa en la Figura 29 en un ejemplo de funcionamiento de la tabla de lecturas, vemos que dicha tabla se conforma por las siguientes columnas.

- Fecha y hora: Es útil para conocer el momento de realización de la lectura, con una resolución de hasta un segundo, en análisis posteriores puede servir para obtener referencias cronológicas para observar tendencias.

- Articulación: Es una columna en la que se le pide al usuario que seleccione entre las opciones a la articulación que se está midiendo, esto a través del *comboBox* denotado con la misma etiqueta “Articulación.”
- Valor angular: Es la columna que en cada medición se irá registrando automáticamente el valor actual en el momento en el que se solicite realizar esa lectura.
- Comentario: A través de un *textBox* se llena esta columna que de manera opcional se ofrece al profesional de fisioterapia como un espacio donde almacenar notas que puedan ser consideradas en posteriores análisis, para cada lectura puede ser diferente el comentario opcional adicional.
- Nombre del paciente: Nuevamente a través de un *textBox* se llena con la información del nombre del paciente que a su vez se reflejará hacia el nombre del archivo a exportar.

En la sección derecha tenemos los botones para gestión de la tabla de registros, dichos botones tienen funciones como se explican a continuación.

- Realizar lectura: Capturar la lectura del ángulo actual y generar una nueva fila en la tabla de mediciones.
- Borrar lectura seleccionada: Se elimina la fila de la tabla previamente seleccionada, para esto basta con un click para resaltar cualquier celda de la fila a borrar, útil para eliminar información que se capturó por error.
- Cargar documento Excel: Esta interfaz tiene la capacidad de retomar una serie de mediciones que se haya exportado con anterior desde la misma interfaz, esto ayuda a llevar una continuación en diferentes sesiones de un seguimiento de valoración articular, entonces este botón sirve para recuperar la información de un documento en un formato con la extensión *.xlsx* previamente generado con este mismo software.
- Limpiar la tabla: este botón sirve para eliminar todas las mediciones en un solo click, para empezar una tabla nueva sin datos previos.
- Exportar documento Excel®: A través de este botón se realiza la conversión de los datos generados en la tabla que se formó con el recurso *DataGridView*

a un archivo con la extensión .xlsx que corresponde al formato utilizado por Microsoft Excel®, de manera que se convierta en una hoja de cálculo para tener la posibilidad de realizar análisis con diferentes herramientas que proporciona el software de Microsoft. ®

- Abrir documento exportado: Una vez se realice la conversión explicada en el punto anterior tenemos la posibilidad de abrir este nuevo archivo generado de manera cómoda desde la misma interfaz desarrollada para este proyecto.

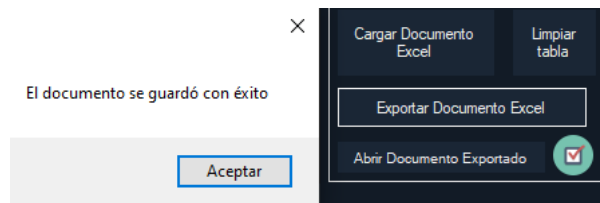


Figura 30. Activación del botón "Abrir documento Exportado"

En Figura 31 se puede observar una captura desde Microsoft Excel® con la salida generada por el programa de interfaz.

	A	B	C	D	E	F
1	Fecha y hora	Articulación	Valor angular	Comentario		
2	07/11/2023 03:25:58 p. m.	Articulación Ejemplo	23°	Comentario Ejemplo		
3	07/11/2023 03:26:00 p. m.	Articulación Ejemplo	51.25°	Comentario Ejemplo		
4	07/11/2023 03:26:01 p. m.	Articulación Ejemplo	71°	Comentario Ejemplo		
5	07/11/2023 03:26:02 p. m.	Articulación Ejemplo	82.25°	Comentario Ejemplo		
6	07/11/2023 03:26:04 p. m.	Articulación Ejemplo	94.25°	Comentario Ejemplo		
7	07/11/2023 03:26:05 p. m.	Articulación Ejemplo	114°	Comentario Ejemplo		
8	07/11/2023 03:26:06 p. m.	Articulación Ejemplo	145°	Comentario Ejemplo		
9	07/11/2023 03:26:07 p. m.	Articulación Ejemplo	159.5°	Comentario Ejemplo		
10	07/11/2023 03:26:09 p. m.	Articulación Ejemplo	171.75°	Comentario Ejemplo		
11	07/11/2023 03:26:13 p. m.	Articulación Ejemplo	180°	Comentario Ejemplo		
12						
13						

Figura 31. Vista del documento exportado.

Para poder llevar a cabo la conversión desde el recurso *DataGridView* a un archivo de extensión .xlsx, fue necesaria la integración de una librería de código abierto llamada *SpreadSheetLight*.

SpreadSheetLight: Biblioteca de hojas de cálculo de código abierto fácil de usar para desarrolladores compatible con Microsoft Excel 2007/2010/2013 y LibreOffice Calc

SpreadsheetLight es una biblioteca de hojas de cálculo Open XML de código abierto para .NET® Framework escrita en C# y se publica bajo la licencia MIT. Puede crear nuevas hojas de cálculo Open XML o trabajar con hojas de cálculo Open XML existentes que sean compatibles con Microsoft Excel® 2007/2010/2013 y LibreOffice Calc.

No se necesita una interoperación con Office®/Excel®. No necesita que Microsoft Office/Excel esté instalado. (Tan, s.f.)

Esta librería permite trabajar en la generación de hojas de cálculo compatibles con Microsoft Excel desde el entorno Windows Forms ya que se trabaja con el lenguaje C# bajo el entorno .NET®. Esta generación se realiza mediante código de inspección cíclica a través de todo el DataGridView para localizar las celdas con contenido, y localizarla correctamente en un formato con las mismas columnas propuestas para el uso dentro de la interfaz, esto para maximizar una compatibilidad al importar hojas de cálculo para ser modificadas o alimentadas de datos sobre la misma interfaz.

Para comprender un poco más la secuencia de trabajo con esta interfaz se presenta un diagrama de flujo.

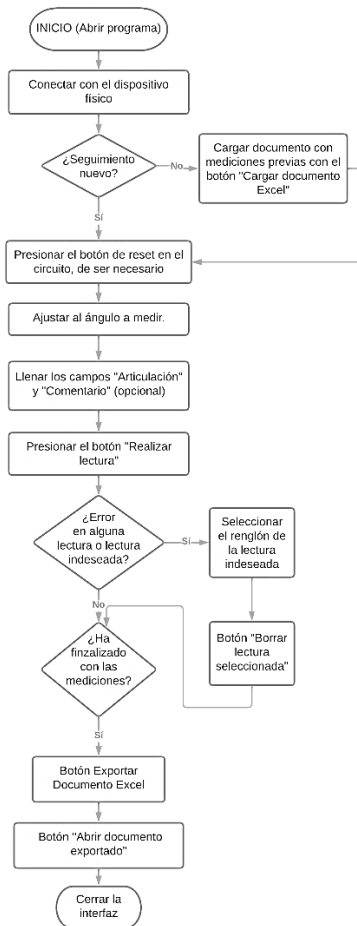


Figura 32. Secuencia de uso de la interfaz gráfica en Windows.

El código perteneciente al desarrollo de software para Windows® se encuentra en el Anexo B.

2.5 Desarrollo del circuito electrónico

En el apartado del diseño del circuito electrónico se consideran diferentes secciones que de manera general podemos mencionar como la sección de carga de batería, protección de sobredescarga, conversión de voltaje y la sección de procesamiento y comunicación.

El software de apoyo utilizado para este propósito es EasyEDA® en su versión 6.4.31.

Se ha elegido este software ya que además de ser software libre no supone mucha dificultad al usarlo además de que el recurso necesario de cómputo y almacenamiento es reducido

2.5.1 Sección de alimentación y carga con batería.

Para la alimentación de este circuito portátil se ha elegido una batería de polímero de litio. Esta elección se debe a la capacidad superior de carga frente a opciones no recargables que ocupan el mismo o mayor espacio, es decir, además de requerir un espacio compacto y ofrecer mayor rendimiento. Por otro lado, el uso de baterías recargables tiene un menor impacto en el medio ambiente.

Después de mediciones de consumo de energía del circuito en funcionamiento, las cuales indicaban un valor cercano a los 90 mA con variaciones, se ha decidido implementar una batería de 650 mAh, con lo que teóricamente aseguramos un rendimiento de alrededor de 6 horas de uso continuo. Dado que el uso no será continuo, la duración de una carga de la batería puede prolongarse a un tiempo no específico ya que es dependiente de los periodos de uso que el dispositivo posea.

La batería seleccionada posee las dimensiones mostradas en la Figura 33, punto en el que se toma atención ya que debe ser un dispositivo compacto y ligero.

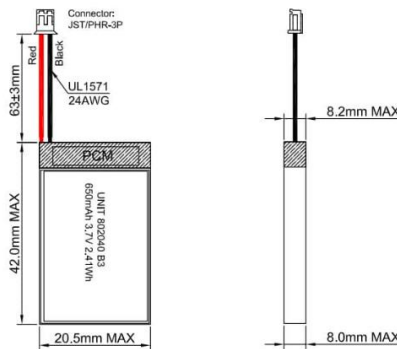


Figura 33. Batería Li-Po propuesta para alimentación del circuito electrónico. Tomada de (UNIT Electronics, s.f.)

La Batería LiPo (litio-polímero) 3.7 V, 650 mAh es una pila recargable constituida por varias celdas lo que permite almacenar una gran cantidad de energía. El voltaje es de 3.7 V a 4.2 V y una corriente de 650 mAh. (UNIT Electronics, s.f.)

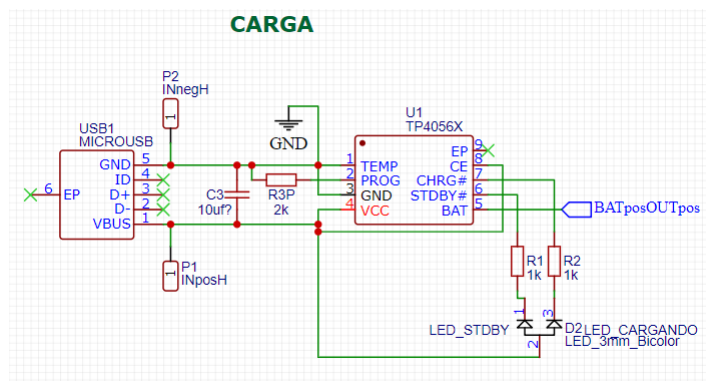


Figura 34. Sección del circuito electrónico dedicado a la carga de la batería.

Como se observa en la Figura 34, para ser posible una carga de la batería propuesta se utiliza como controlador el circuito integrado TP4056, a su vez la energía se proporciona a través de un puerto micro USB. Para conocer el estado de la carga de la batería se han incluido dos leds indicadores para el caso en el que se encuentre en carga, y para el caso en el que ha alcanzado su nivel óptimo, que es de 4.2 V.

El circuito integrado TP4056 es un cargador lineal de corriente constante/voltaje constante para baterías de iones de litio de celda única. Su paquete SOP y su bajo número de componentes externos hacen que el TP4056 sea ideal para aplicaciones portátiles. Además, el TP4056 puede funcionar con USB y adaptador de pared. No se requiere diodo de bloqueo debido a la arquitectura PMOSFET interna y evita que el circuito de corriente de carga negativa. La retroalimentación térmica regula la corriente de carga para limitar la temperatura del troquel durante la operación de alta potencia o temperatura ambiente alta. El voltaje de carga se fija en 4.2 V y la corriente de carga se puede programar externamente con una sola resistencia. El TP4056 finaliza automáticamente el ciclo de carga cuando la corriente de carga cae a 1/10 del valor programado después de alcanzar el voltaje de flotación final. TP4056 Otras características incluyen monitor de corriente, bloqueo de bajo voltaje, recarga automática y dos pines de estado para indicar la terminación de la carga y la presencia de un voltaje de entrada. (NanJing Top Power ASIC Corp.)

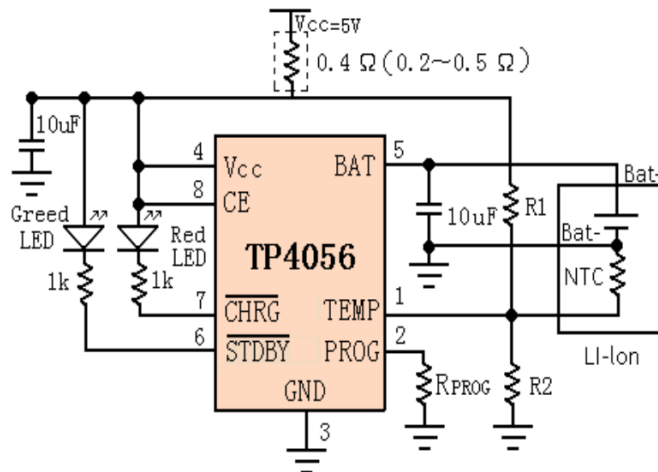


Figura 35. Aplicación típica del circuito integrado TP4056. Tomado de (NanJing Top Power ASIC Corp.) .

Además de la carga es importante proporcionar una protección de sobre-descarga o corto circuito a la batería.

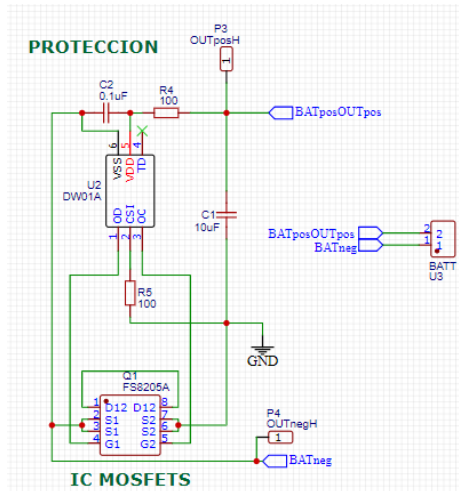


Figura 36. Sección de protección de sobre-descarga/corto circuito de la alimentación.

Posterior a la zona de carga y descarga de la batería para proporcionar la alimentación, pasamos a la sección de conversión de esta.

2.5.2 Sección de conversión de voltaje.

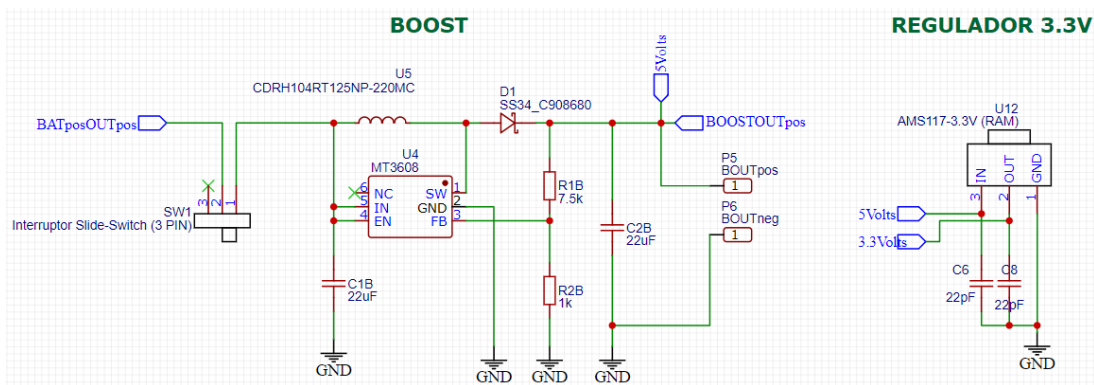


Figura 37. Zona de conversión de la energía.

Dado que un par de elementos del circuito como es el encoder incremental y el módulo Bluetooth requieren un voltaje de 5 V para funcionar es necesario implementar un convertidor que proporcione ese voltaje, en este caso se integra uno de tipo boost/step-up, con ayuda del circuito integrado MT3608.

El circuito integrado MT3608 es un convertidor elevador de modo de corriente SOT23 de 6 pines y frecuencia constante diseñado para aplicaciones pequeñas y de baja potencia. El MT3608 cambia a 1,2 MHz y permite el uso de condensadores e inductores pequeños y de bajo costo de 2 mm o menos de altura. El arranque suave interno da como resultado una pequeña corriente de entrada y prolonga la vida útil de la batería. El MT3608 cuenta con cambio automático al modo de

modulación de frecuencia de pulso en cargas ligeras. El MT3608 incluye bloqueo de bajo voltaje, limitación de corriente y protección de sobrecarga térmica para evitar daños en caso de una sobrecarga de salida. El MT3608 está disponible en un pequeño paquete SOT-23 de 6 pines. (Xi'an Aerosemi Technology Co., Ltd)

CARACTERÍSTICAS

- MOSFET de potencia integrado de 80 mΩ
- Voltaje de entrada de 2 V a 24 V
- Frecuencia de conmutación fija de 1,2 MHz
- Límite de corriente del interruptor interno 4 A
- Voltaje de salida ajustable
- Compensación Interna
- Voltaje de salida de hasta 28 V
- Modulación automática de frecuencia de pulso

Modo en cargas ligeras

- Hasta un 97 % de eficiencia
- Disponible en un paquete SOT23-6 de 6 pines

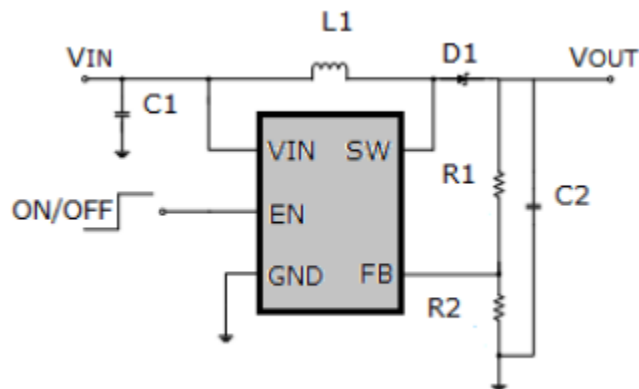


Figura 38. Aplicación típica de circuito integrado M3608. Tomado de (Xi'an Aerosemi Technology Co., Ltd)

Además de esta conversión también se implementa un regulador que entregue una cantidad de 3.3 V que es el voltaje adecuado para el microcontrolador PIC24EP128MC202.

2.5.3 Sección de adquisición y procesamiento de datos.

Ahora es el turno de observar la parte referente a la adquisición y proceso de los datos para conocer un valor angular medido desde el encoder, además de la integración del módulo de comunicación inalámbrica.

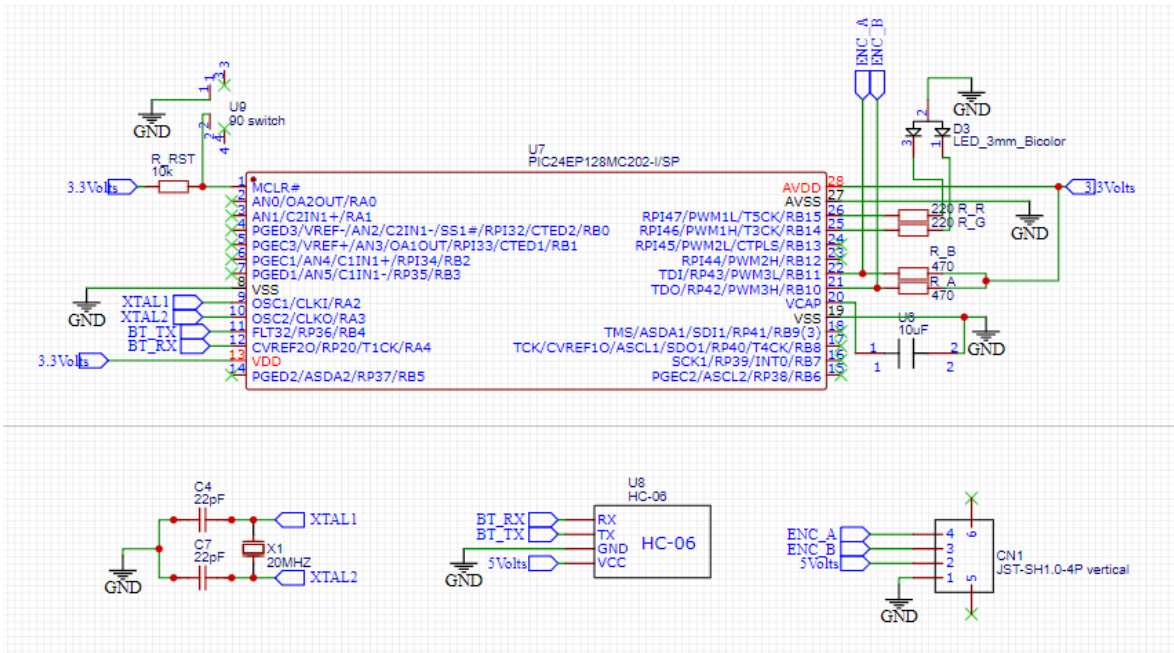


Figura 39. Sección de procesamiento de datos y comunicación.

En esta sección tenemos al microcontrolador de Microchip PIC24EP128M202, el cual es el encargado de estar conectado al encoder y procesar los pulsos que recibe de este, para el funcionamiento de este microcontrolador se necesitan algunos elementos adicionales como un cristal de cuarzo y algunos capacitores.

Previamente se ha mencionado que tanto el encoder como el módulo bluetooth tienen su funcionamiento con 5 V, pero en microcontrolador a 3.3 V, esto se soluciona ya que el microcontrolador elegido tiene algunos pines, que podemos notar en la Figura 40 que son aptos para recibir señales de 5 V, con lo que no se corre algún riesgo de dañarlo.

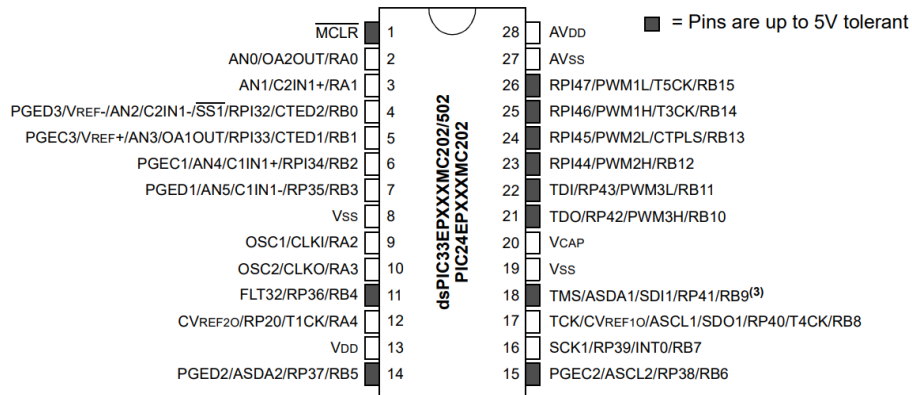


Figura 40. Pines del microcontrolador PIC24EP128MC202 que son tolerantes a 5 V.

Adicionalmente se integra un par de leds que sirven como indicador correspondiente al estado de la conexión con la computadora, es decir, cuando está una desconexión y cuando se está realizando el intercambio de datos.

La Figura 41 ofrece una vista global del circuito electrónico diseñado.

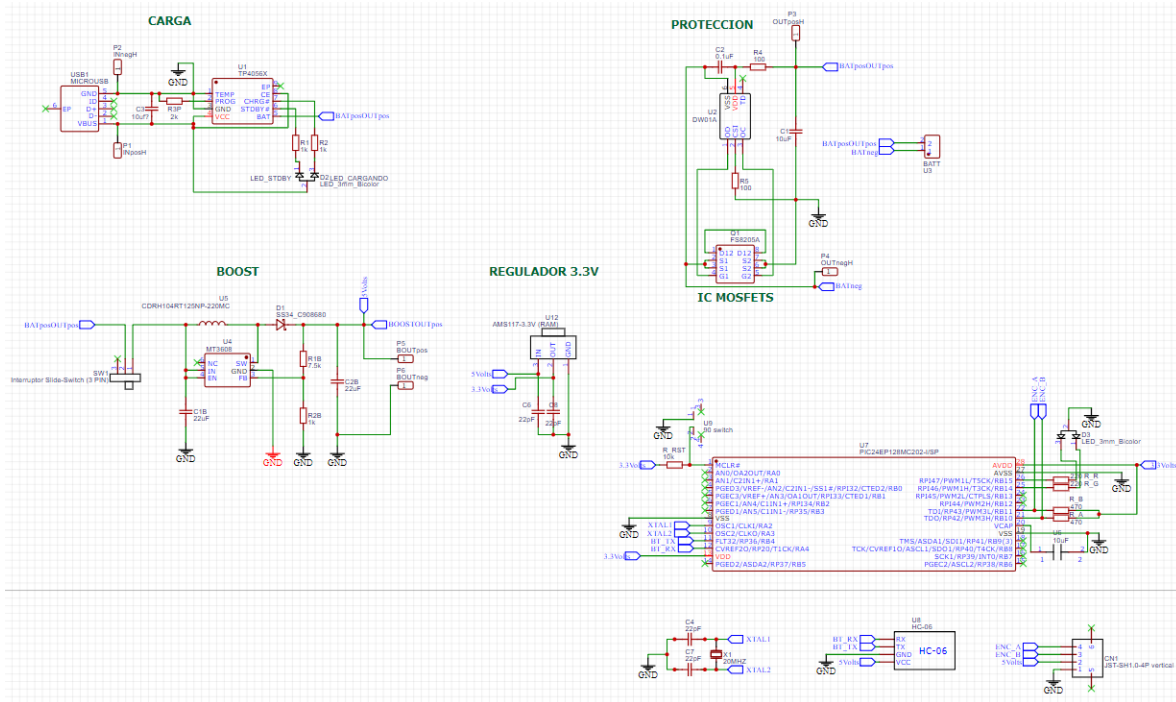


Figura 41. Circuito electrónico completo.

2.5.4 Diseño de la tarjeta de circuito impreso (PCB)

Una vez teniendo el circuito diseñado, se emplea el mismo software para el diseño esta vez de la tarjeta PCB.

Una PCB se define como un circuito cuyos componentes y conductores están contenidos dentro de una estructura mecánica. Las funciones conductoras incluyen trazas de cobre, terminales, disipadores de calor o conductores planos. La estructura mecánica se hace con material laminado aislante entre capas de material conductor. A su vez, la estructura general es chapada y cubierta con una máscara de soldadura no conductora y una pantalla de impresión para la ubicación de leyenda de componentes electrónicos. (Altium Limited, 2020)

Dado que este es un proyecto que a partir de diferentes tipos de retroalimentación puede cambiar algún aspecto en el diseño se presenta la primera versión de diseño de PCB.

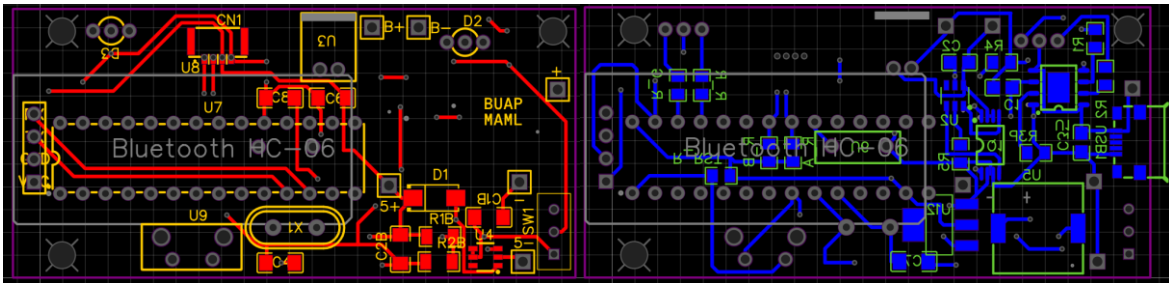


Figura 42. Diseño de la tarjeta PCB. a) Capa superior b) Capa inferior.

Una vez que se lleva a cabo la manufactura de la PCB se obtiene la tarjeta presentada en la Figura 43.

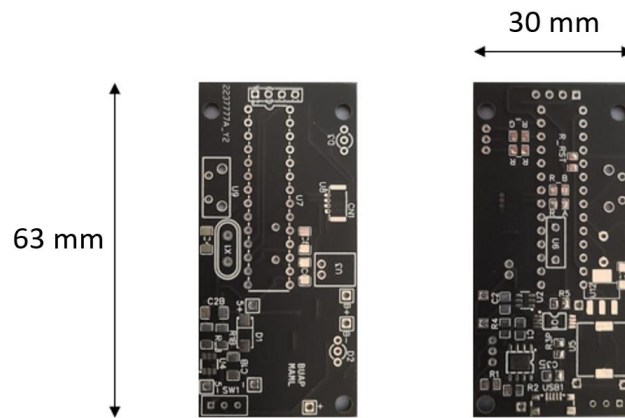


Figura 43. Tarjeta manufacturada y dimensiones. a) Capa superior b) Capa inferior.

Posteriormente se realiza la integración de los componentes en la PCB.

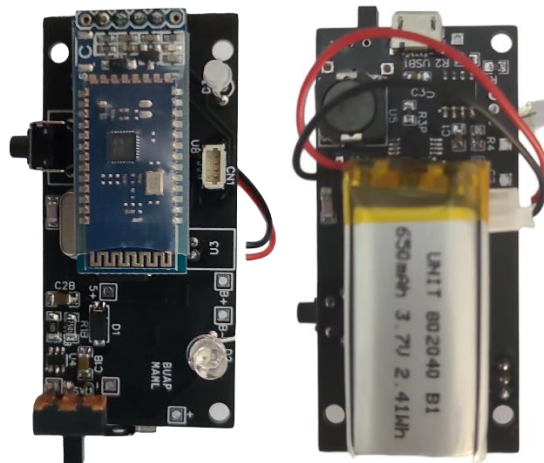


Figura 44. PCB con los componentes necesarios. a) Vista superior b) Vista inferior.

2.6 Diseño de componentes mecánicos por medio de CAD

Para el diseño de elementos necesarios para acople y dar estructura al dispositivo se ha elegido el uso del software CAD SOLIDWORKS® en su versión 2018.

En primer lugar, se ha diseñado el par de brazos que son necesarios para el acople a una proyección de la articulación.

Se le denominará brazo fijo al brazo que se encuentra acoplado al cuerpo del encoder incremental.



Figura 45. Dimensiones y forma de la pieza fija diseñada por CAD.

Por otro lado, se le denomina brazo móvil a la pieza que se acopla al eje del encoder incremental.

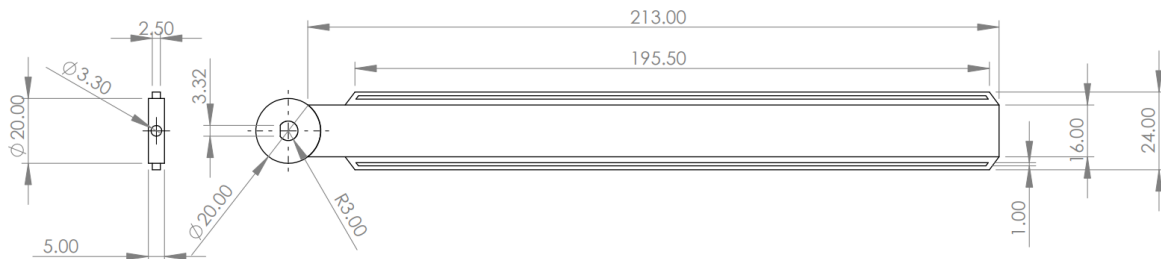


Figura 46. Dimensiones y forma de la pieza móvil diseñada por CAD.

Además de los brazos es necesario diseñar una caja que sirva para almacenar los componentes del circuito electrónico.

Dicho elemento se conforma de dos partes que podemos denominar como inferior y superior.

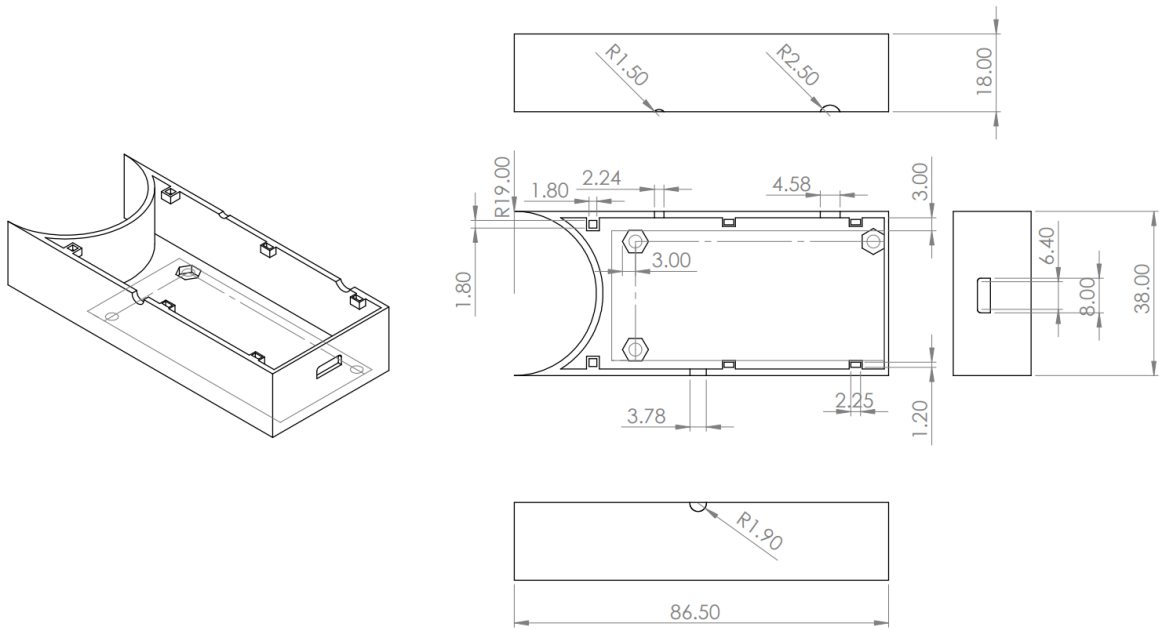


Figura 47. Dimensiones y forma de la pieza inferior de la caja para el circuito.

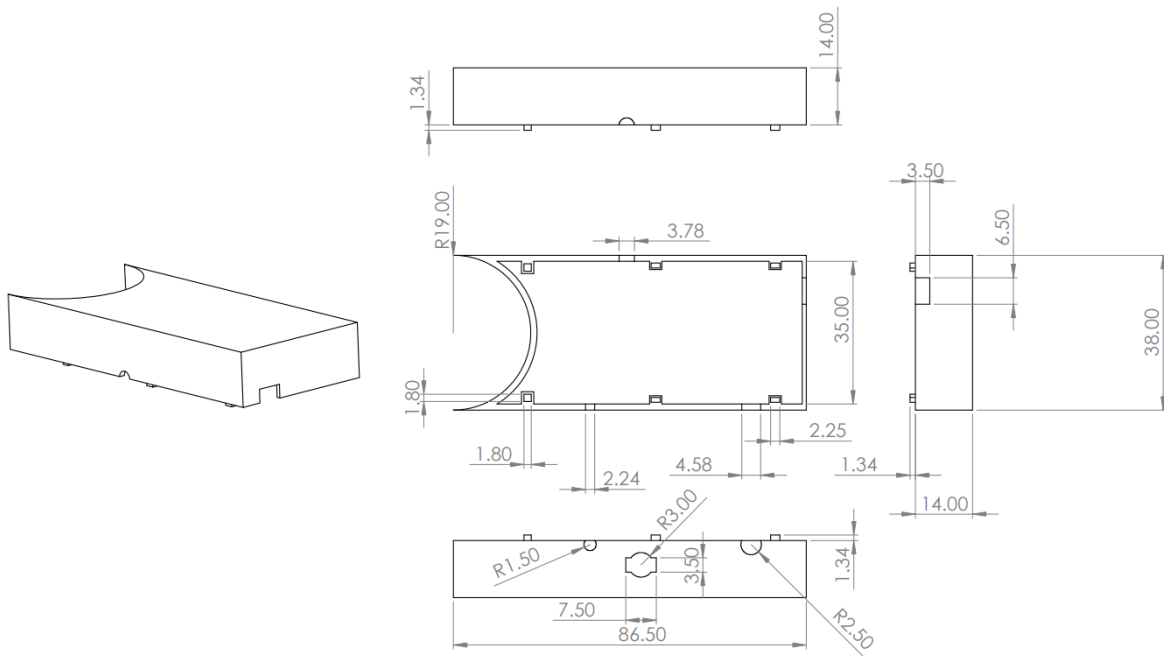


Figura 48. Dimensiones y forma de la pieza superior de la caja para el circuito.

Así como hubo una repercusión en la distribución de los componentes electrónicos también se modificaron las piezas que conforman el conjunto de elementos físicos que dan forma y estructura el prototipo, que en el software de CAD Solidworks® se diseñaron, siendo mostradas en la Figura 52, Figura 53 y Figura 54.

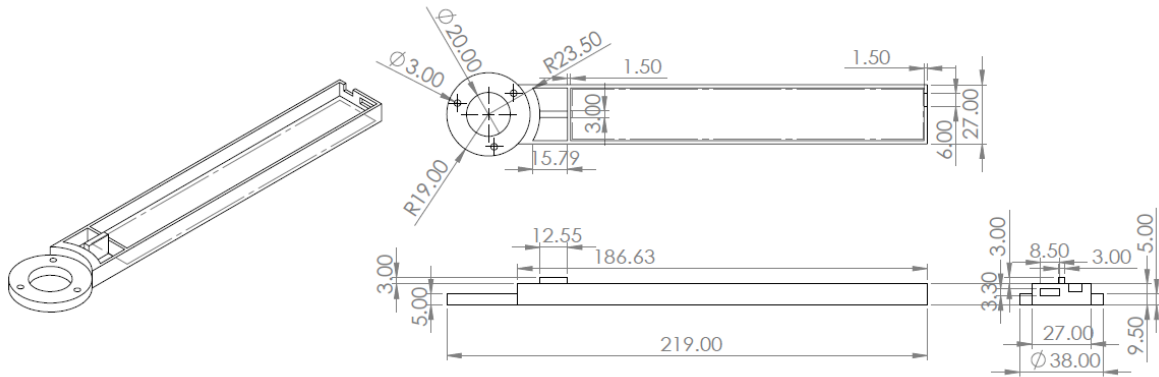


Figura 52. Dimensiones de pieza fijada al encoder incremental.

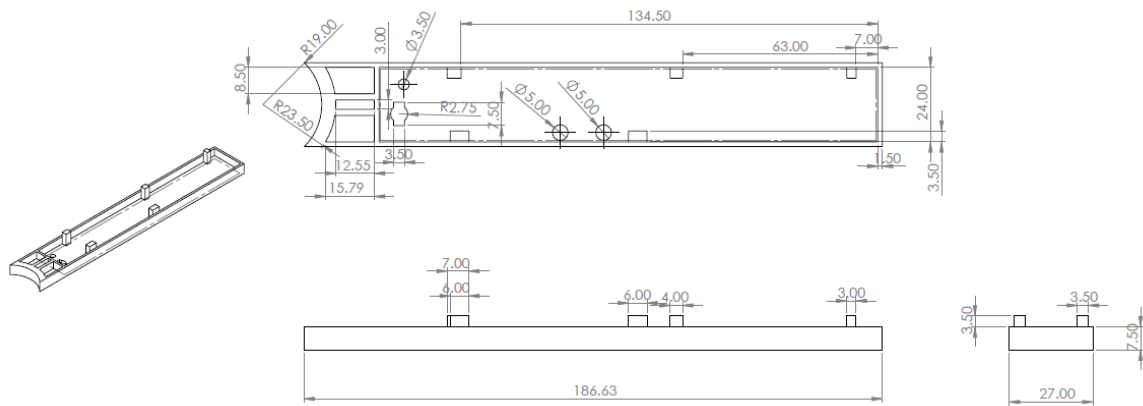


Figura 53. Dimensiones de pieza que cubre el circuito electrónico.

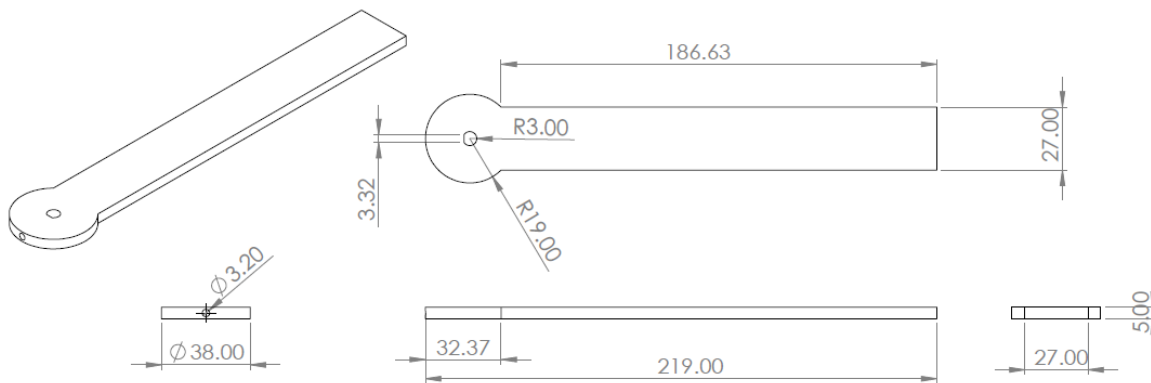


Figura 54. Dimensiones de pieza móvil que se encuentra vinculada al eje del encoder incremental.

Apoyándose del software CAD se puede generar un modelo 3D de la integración de las partes mecánicas y de estructura la cual se puede observar en la Figura 55.

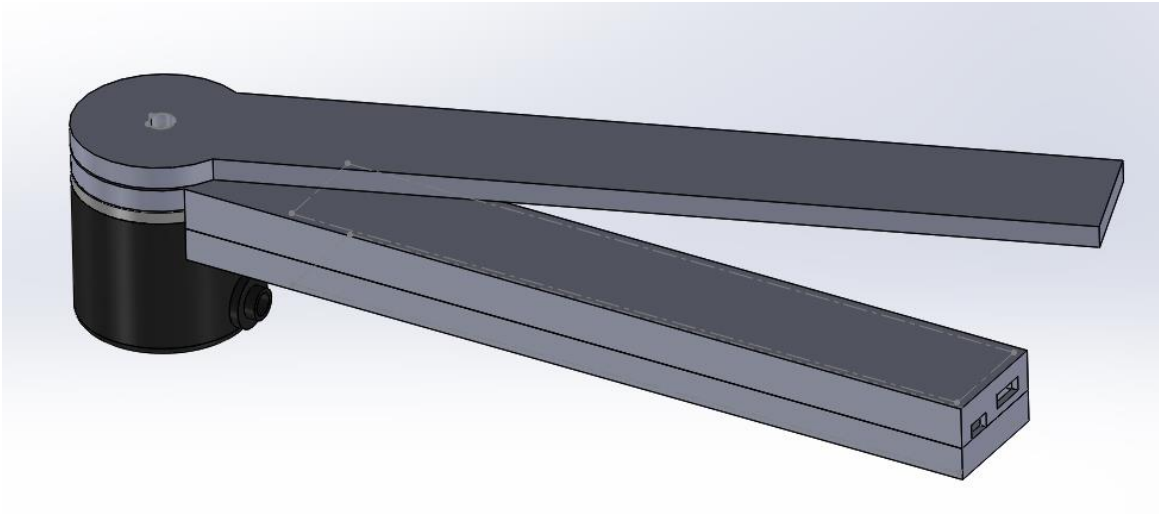


Figura 55. Modelo 3D de los elementos físicos del goniómetro digital.

Capítulo III. Resultados y conclusiones

En este tercer capítulo se exponen los resultados presentando evidencias que ofrecen una visión del comportamiento obtenido del dispositivo desarrollado, además de contemplar sugerencias orientadas a complementar en un futuro el desarrollo realizado.

3.1 Resultados

El circuito electrónico tuvo una distribución de los componentes en la tarjeta de circuito impreso se muestra en la Figura 56 y en la Figura 57.



Figura 56. Circuito montado en PCB. Lado superior.



Figura 57. Circuito montado en PCB. Lado inferior.

Las dimensiones de esta PCB son de 160 mm de largo y 23 mm de ancho donde se ubicaron los componentes electrónicos de manera conveniente para uso y construcción con los elementos físicos.

Finalmente, el goniómetro digital propuesto en su construcción física tiene el aspecto mostrado en la Figura 58.



Figura 58. Aspecto físico del goniómetro digital.

A continuación, se enlistan los controles, puerto e indicadores.

- Switch OFF/ON: Interruptor para encender o apagar el dispositivo.
- Puerto micro-USB: Conexión para carga del goniómetro.
- Botón reset: Útil para marcar la referencia de medición, es decir, el punto de medición 0°.
- Indicador Conexión: Se ilumina en color azul cuando el dispositivo está encendido, pero no en comunicación con la interfaz, en color verde cuando se mantiene una conexión con el software de interfaz.
- Indicador Carga: Se ilumina en color rojo cuando se encuentra cargando la batería, en color verde cuando se encuentra completamente cargada.



Figura 59. Vista de los controles, indicadores y puerto en el goniómetro digital.

Es de importancia analizar el comportamiento del envío de datos entre los sistemas de hardware y software que componen al goniómetro digital. Como en toda comunicación, especialmente en una comunicación inalámbrica la velocidad de transmisión no es una constante.

El tiempo de entre un envío de datos y la siguiente se encuentra aproximado entre 28 ms y 42 ms. En la Figura 60 se muestra una serie de pulsos de comunicación y las mediciones mencionadas.



Figura 60. Medición de tiempo entre envío de datos.

Por otra parte, se han realizado pruebas de distancia de trabajo, dando como resultado hasta 15 metros de distancia entre la computadora y el dispositivo sin una deficiencia notable en la velocidad de actualización de los datos en pantalla, lo cual se considera un límite conveniente ya que en la práctica no se requiere una gran distancia de trabajo.

Además, en cuestión de energía el dispositivo ha mostrado funcionamiento continuo por más de 6 horas. Dado que el funcionamiento requerido no es continuo se extiende en buena medida.

Con base en las observaciones anteriores se pueden resumir como características en la Tabla 5.

Tabla 5. Características del goniómetro digital.

Resolución	0.25 °
Rendimiento de batería	Más de 6 horas continuas.
Voltaje de carga	5 V.
Tiempo de carga completa	1.5 - 2 horas.
Distancia de funcionamiento.	Más de 15 metros.
Tiempo de actualización del valor angular	28-42 ms
Peso	163 g
Dimensiones	37 mm x 44 mm x 223 mm (402 mm máxima extensión)

El sistema completo conformado por la interfaz en software y la parte física en conjunto pueden observarse funcionando en la Figura 61.

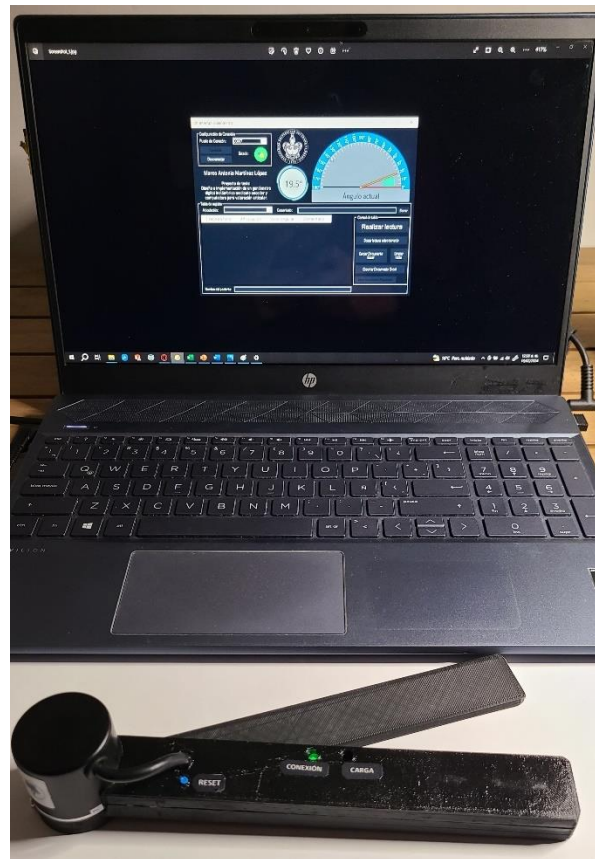


Figura 61. Sistema del goniómetro digital completo.

Para probar el funcionamiento se contempló el uso ejemplos de mediciones en articulaciones como rodilla y codo, donde se hace una comparación con mediciones hechas con un goniómetro simple, los cuales se muestran en la Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 6. Ejemplo de mediciones en rodilla.



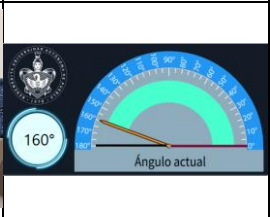






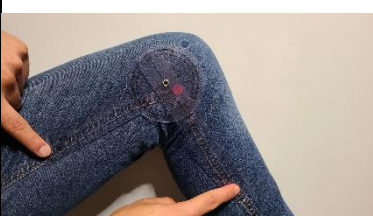
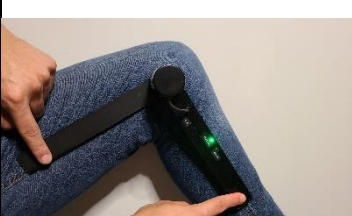

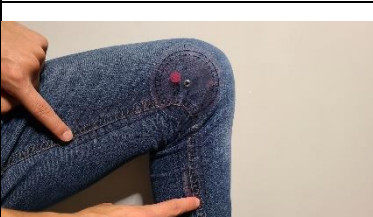
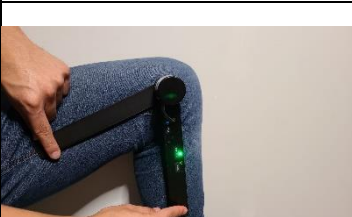
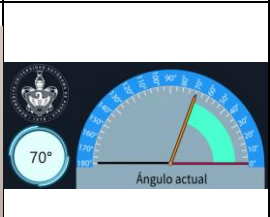
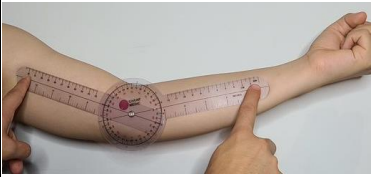














Goniómetro tradicional		Goniómetro digital		
Medición.	Lectura	Medición	Interfaz	Lectura
	160 °			160 °
	137 °			136.75 °
	115 °			115 °
	93 °			93.25 °
	70 °			70 °

Tabla 7. Ejemplo de mediciones en codo.

Goniómetro tradicional		Goniómetro digital		
Medición.	Lectura	Medición	Interfaz	Lectura
	150 °			150 °
	128 °			128.25 °
	107 °			106.75 °
	86 °			86 °
	65 °			65 °

Se considera importante realizar una comparación del comportamiento del goniómetro digital tomando como referencia el goniómetro simple al ser manejados de manera conjunta.

Para estas pruebas se considera una serie de pasos para recabar mediciones con el fin de procurar el menor impacto por movimientos variables no deseados que alteren el resultado comparativo entre ambos instrumentos.

1. Fijar el cuerpo base del goniómetro digital a una superficie estable.
2. Sujetar el brazo móvil del goniómetro digital a uno de los brazos del goniómetro simple.
3. Alinear en posición de referencia cero ambos brazos del goniómetro digital y del goniómetro simple.
4. Se establece realizar mediciones para cada múltiplo de 10 ° hasta 180 °.
5. Para cada medición se alinean ambos brazos de los dos instrumentos haciendo coincidir conforme a la referencia marcada por el goniómetro simple y se captura la información ofrecida por el goniómetro digital.
6. Se realiza la captura de las mediciones en diez ocasiones para analizar el comportamiento a lo largo de estas repeticiones.

La Figura 62 muestra la disposición de los elementos para realizar la prueba para comparación de la información recabada por los instrumentos.

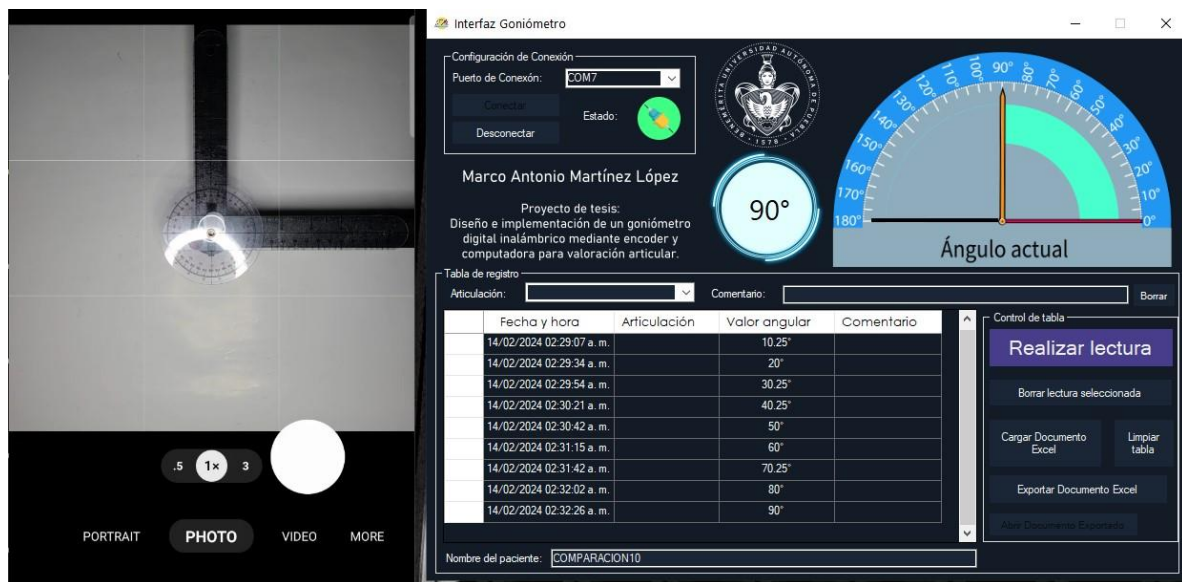
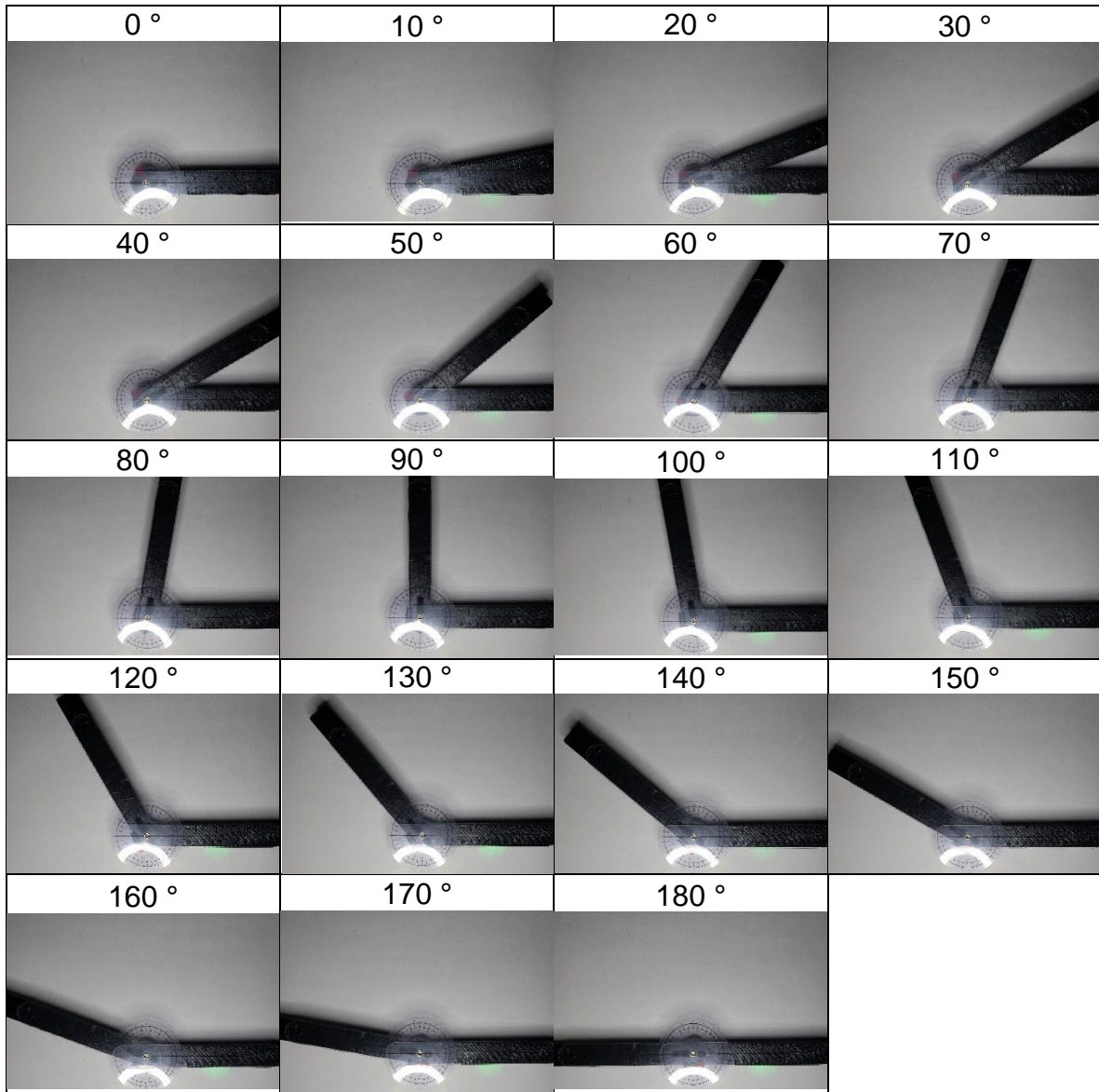


Figura 62. Muestra de captura para registro de mediciones para comparación entre goniómetro simple y digital.

La Tabla 8 muestra una vista del conjunto de ambos goniómetros para una serie de mediciones.

Tabla 8. Mediciones desde 0° hasta 180° con ambos goniómetros sujetos.



La captura de los datos originó un registro que se muestra en la Tabla 9 y Tabla 10 en que también se incluye el cálculo de la media aritmética, varianza y desviación estándar para cada valor angular considerado.

La varianza se calcula con la ecuación 2.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (2)$$

Donde:

- σ^2 es la varianza o desviación estándar al cuadrado.

- x_i es la captura número i de la variable medida.
- \bar{x} es la media aritmética.
- n es la cantidad de capturas.

Tabla 9. Mediciones con goniómetro digital y simple como referencia. (1)

#	Valor en goniómetro simple (°)	Valor en goniómetro digital 1 (°)	Valor en goniómetro digital 2 (°)	Valor en goniómetro digital 3 (°)	Valor en goniómetro digital 4 (°)	Valor en goniómetro digital 5 (°)	Valor en goniómetro digital 6 (°)
1	0	0	0	0	0	0	0
2	10	9.75	10	10.5	10.25	10.25	10.25
3	20	19.75	20.25	19.75	20	20.25	20
4	30	30	29.75	29.75	30.25	30	30
5	40	39.5	40.25	40	40	40.25	40
6	50	50	50	49.5	50	50	49.75
7	60	59.75	60	60	60	60	60
8	70	69.75	70	69.75	69.75	69.75	70
9	80	80.25	79.75	80	80.25	79.75	80
10	90	89.75	89.75	89.75	90	90	89.75
11	100	99.75	100	99.75	100.25	100	99.75
12	110	110	110	109.5	109.75	109.75	109.75
13	120	119.75	119.5	119.75	119.75	119.5	120
14	130	129.75	129.5	129.75	130	129.75	130
15	140	139.75	139.75	139.5	139.75	139.75	139.75
16	150	150	149.5	149.75	149.75	150	149.5
17	160	159.5	159.75	159.75	160	159.75	160
18	170	169.75	169.5	169.5	170	169.75	169.75
19	180	180	179.75	179.75	180	179.5	179.75

Tabla 10. Mediciones con goniómetro digital y simple como referencia. (2)

Valor en goniómetro digital 7 (°)	Valor en goniómetro digital 8 (°)	Valor en goniómetro digital 9 (°)	Valor en goniómetro digital 10 (°)	Media (°)	Varianza (° ²) $\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$	Desviación estándar σ (°)
0	0	0	0	0.000	0.000000	0.00000
9.75	9.75	9.75	10.25	10.050	0.072500	0.26926
20	20	19.75	20	19.975	0.030625	0.17500
30.25	29.75	29.75	30.25	29.975	0.043125	0.20767
40.25	40.25	40	40.25	40.075	0.050625	0.22500
50.5	49.75	49.75	50	49.925	0.063125	0.25125
60	60.25	59.75	60	59.975	0.018125	0.13463
69.75	70	70	70.25	69.900	0.027500	0.16583
80	79.75	80	80	79.975	0.030625	0.17500
90	89.75	89.75	90	89.850	0.015000	0.12247
100	99.5	99.75	99.75	99.850	0.040000	0.20000
110	110	110	109.75	109.850	0.027500	0.16583
119.75	119.75	120	120	119.775	0.030625	0.17500
129.75	129.5	129.75	130	129.775	0.030625	0.17500
139.75	139.75	139.75	140	139.750	0.012500	0.11180
149.75	149.75	150	149.75	149.775	0.030625	0.17500
159.75	159.75	159.75	160.25	159.825	0.038125	0.19526
170	169.75	170.25	169.75	169.800	0.047500	0.21794
179.75	180	179.75	179.75	179.800	0.022500	0.15000

Con los datos recuperados se puede generar un gráfico que exprese el comportamiento de la desviación estándar de las capturas para cada ángulo de referencia considerado, el cual se muestra en Gráfica 1.



Gráfica 1. Desviación estándar para las capturas.

Se puede apreciar como punto de desviación mayor en las mediciones para 10° siendo de 0.26926 ° su valor; el cual es aceptablemente bajo dada la aplicación para este goniómetro, considerando como referencia un modelo propuesto por (Fitz Bumacod, Delfin, Linsangan, & Angelia, 2020) en el que se considera válido realizar las mediciones en términos de grados enteros, mientras que (Norkin & White, 2016) comparten que con el uso de goniómetros universales se han documentado desviaciones estándar en promedio para medida de rango de movimiento (ROM) de magnitudes entre 4 ° a 5 °.

Además, se considera calcular la diferencia de las capturas realizadas con respecto a la referencia que es el goniómetro simple y la diferencia de la media con respecto a dicha referencia, lo cual se expresa en la Tabla 11 y Tabla 12 que adicionalmente incluyen datos sobre el promedio y valor más alto de dichas comparaciones.

Tabla 11. Análisis de diferencias/errores de capturas con goniómetro digital. (1)

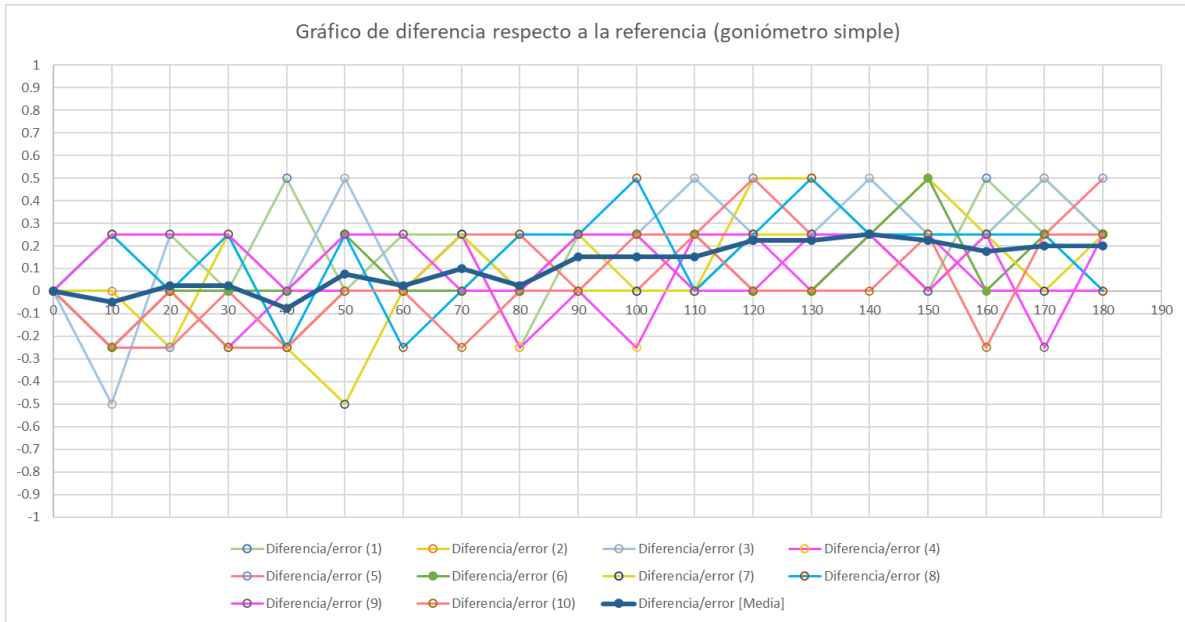
#	Valor en goniómetro simple (°)	Valor en goniómetro digital 1 (°)	Diferencia/error (1)	Valor en goniómetro digital 2 (°)	Diferencia/error (2)	Valor en goniómetro digital 3 (°)	Diferencia/error (3)	Valor en goniómetro digital 4 (°)	Diferencia/error (4)	Valor en goniómetro digital 5 (°)	Diferencia/error (5)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	10	9.75	0.25	10	0	10.5	-0.5	10.25	-0.25	10.25	-0.25
3	20	19.75	0.25	20.25	-0.25	19.75	0.25	20	0	20.25	-0.25
4	30	30	0	29.75	0.25	29.75	0.25	30.25	-0.25	30	0
5	40	39.5	0.5	40.25	-0.25	40	0	40	0	40.25	-0.25
6	50	50	0	50	0	49.5	0.5	50	0	50	0
7	60	59.75	0.25	60	0	60	0	60	0	60	0
8	70	69.75	0.25	70	0	69.75	0.25	69.75	0.25	69.75	0.25
9	80	80.25	-0.25	79.75	0.25	80	0	80.25	-0.25	79.75	0.25
10	90	89.75	0.25	89.75	0.25	89.75	0.25	90	0	90	0
11	100	99.75	0.25	100	0	99.75	0.25	100.25	-0.25	100	0
12	110	110	0	110	0	109.5	0.5	109.75	0.25	109.75	0.25
13	120	119.75	0.25	119.5	0.5	119.75	0.25	119.75	0.25	119.5	0.5
14	130	129.75	0.25	129.5	0.5	129.75	0.25	130	0	129.75	0.25
15	140	139.75	0.25	139.75	0.25	139.5	0.5	139.75	0.25	139.75	0.25
16	150	150	0	149.5	0.5	149.75	0.25	149.75	0.25	150	0
17	160	159.5	0.5	159.75	0.25	159.75	0.25	160	0	159.75	0.25
18	170	169.75	0.25	169.5	0.5	169.5	0.5	170	0	169.75	0.25
19	180	180	0	179.75	0.25	179.75	0.25	180	0	179.5	0.5
Promedio			0.17105263		0.15789474		0.21052632		0.01315789		0.10526316
Mayor			0.5		0.5		0.5		0.25		0.5

Tabla 12 Análisis de diferencias/errores de capturas con goniómetro digital. (2)

Valor en goniómetro digital 6 (°)	Diferencia/error (6)	Valor en goniómetro digital 7 (°)	Diferencia/error (7)	Valor en goniómetro digital 8 (°)	Diferencia/error (8)	Valor en goniómetro digital 9 (°)	Diferencia/error (9)	Valor en goniómetro digital 10 (°)	Diferencia/error (10)	Media de mediciones Goniómetro digital	Diferencia/error [Media]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000
10.25	-0.25	9.75	0.25	9.75	0.25	9.75	0.25	10.25	-0.25	10.050	-0.050
20	0	20	0	20	0	19.75	0.25	20	0	19.975	0.025
30	0	30.25	-0.25	29.75	0.25	29.75	0.25	30.25	-0.25	29.975	0.025
40	0	40.25	-0.25	40.25	-0.25	40	0	40.25	-0.25	40.075	-0.075
49.75	0.25	50.5	-0.5	49.75	0.25	49.75	0.25	50	0	49.925	0.075
60	0	60	0	60.25	-0.25	59.75	0.25	60	0	59.975	0.025
70	0	69.75	0.25	70	0	70	0	70.25	-0.25	69.900	0.100
80	0	80	0	79.75	0.25	80	0	80	0	79.975	0.025
89.75	0.25	90	0	89.75	0.25	89.75	0.25	90	0	89.850	0.150
99.75	0.25	100	0	99.5	0.5	99.75	0.25	99.75	0.25	99.850	0.150
109.75	0.25	110	0	110	0	110	0	109.75	0.25	109.850	0.150
120	0	119.75	0.25	119.75	0.25	120	0	120	0	119.775	0.225
130	0	129.75	0.25	129.5	0.5	129.75	0.25	130	0	129.775	0.225
139.75	0.25	139.75	0.25	139.75	0.25	139.75	0.25	140	0	139.750	0.250
149.5	0.5	149.75	0.25	149.75	0.25	150	0	149.75	0.25	149.775	0.225
160	0	159.75	0.25	159.75	0.25	159.75	0.25	160.25	-0.25	159.825	0.175
169.75	0.25	170	0	169.75	0.25	170.25	-0.25	169.75	0.25	169.800	0.200
179.75	0.25	179.75	0.25	180	0	179.75	0.25	179.75	0.25	179.800	0.200
0.10526316			0.05263158		0.15789474		0.13157895		0		
0.5			0.25		0.5		0.25		0.25		

En la tabla mostrada se puede destacar que la diferencia mayor encontrada con respecto a la referencia en general es con un valor de 0.5 °, mientras que el promedio de mayor magnitud corresponde a la serie de capturas número 3.

Resulta conveniente mostrar en una gráfica el comportamiento de dichas diferencias para cada punto considerado, misma que se muestra en Gráfica 2.



Gráfica 2. Diferencia con respecto a la referencia del goniómetro simple.

Se observa en la Gráfica 2 que las mayores diferencias tienen un valor absoluto de 0.5 °, además se aprecia el comportamiento de la media de estas diferencias que tiene como máximo un valor de 0.250 ° correspondiendo a el punto de 140 °.

3.2 Conclusiones y trabajos futuros

3.2.1 Conclusiones generales

A lo largo de la elaboración del proyecto de propuesta presentada se han cumplido los objetivos desde el general hasta los específicos dado el prototipo que se ha desarrollado que a través de componentes como un encoder incremental, un circuito de adquisición y transmisión inalámbrica de datos a una interfaz en computadora constituye un goniómetro digital capaz de ofrecer mediciones suficientemente confiables para ser parte de procesos de valoración articular basados en la medición del rango de movimiento en articulaciones humanas.

El proyecto que se ha integrado por subsistemas de naturaleza mecánica, electrónica y de software ha conjuntado diferentes componentes de la mecatrónica resultando en una propuesta aplicable en el campo de las ciencias de la salud como la fisioterapia.

Como parte fundamental se hizo revisión del funcionamiento de un goniómetro en su versión orientada a medición del rango de movimiento articular, sus características y uso, sus prestaciones e identificación de aspectos que podían mejorarse.

En una instancia posterior se llevó a cabo un desarrollo que incluye la caracterización de un encoder incremental con pulsos por revolución determinados

que genera diferentes señales que para su adquisición requirió programación aplicada a un microcontrolador dada la capacidad de procesamiento y transmisión a través de un módulo de comunicación inalámbrica donde el receptor se encuentra en una computadora que sea capaz de ejecutar una interfaz desarrollada basada en código abierto dedicada al goniómetro digital propuesto.

Mirando al apartado electrónico cabe resaltar que el subsistema se encuentra alimentado por una serie de elementos convertidores de la energía eléctrica a través de circuitos integrados que la toman de una batería recargable que dados los requerimientos en rendimiento se trata de una opción más compacta en comparación con opciones extraíbles.

Por el lado físico es de importancia mencionar el papel que tomó el diseño asistido por computadora CAD para la implementación de piezas llevadas a la realidad que constituyen la estructura del instrumento considerando la forma mayormente adecuada para el uso en el propósito de ser una medición para la proyección de una articulación deseada.

La suma de aportaciones del desarrollo en cada uno de los componentes que conforman la herramienta llevan al dispositivo a actuar como se pretendía en el objetivo de ser un goniómetro digital inalámbrico que ofrece mediciones aptas para su uso en procesos de valoración articular humana mostrando capacidad de realizar mediciones confiables considerando que (Norkin & White, 2016) refieren que de acuerdo a su investigación la desviación estándar media de las mediciones repetidas del ROM (rango de movimiento) de las articulaciones de las extremidades tomadas por un solo examinador utilizando un goniómetro universal se ha encontrado en un rango de 4 a 5 grados, mientras que por otro lado (Fitz Bumacod, Delfin, Linsangan, & Angelia, 2020) contemplan apto para su prototipo tomar mediciones de grados enteros, siendo que el goniómetro digital inalámbrico presentado es capaz de generar mediciones en fracciones de grados.

3.2.2 Trabajos futuros

Como trabajos futuros se sugiere una expansión de la compatibilidad a más sistemas operativos además de Windows, incluyendo a los sistemas operativos móviles que se encuentran más extendidos lo cual mejoraría el uso del instrumento, al mismo tiempo que pueden integrarse nuevas funciones al programa que sean útiles al momento de usar dicho programa. Dado que se ha desarrollado la interfaz de software con base en código libre, queda abierto a mejoras e integración de nuevas características de manera accesible. Por otro lado, si se encuentra conveniente podría ser favorable la implementación de más controles en el circuito electrónico para uso en el manejo físico.

Esta herramienta busca dar entrada a nuevas tecnologías dedicadas al estudio de movimiento articular a partir del ROM que implementen nuevos datos que describan aspectos o características medibles o estimables para la descripción objetiva del movimiento en articulaciones humanas que posteriormente sean interpretados para mejorar tratamientos establecidos por personal del área de la salud.

Bibliografía

- Altium Limited. (05 de 10 de 2020). *¿Qué es un PCB o Placa de Circuito Impreso?* Obtenido de <https://resources.altium.com/es/p/what-is-a-pcb>
- Bisdikian, C. (2001). An Overview of the Bluetooth Wireless Technology. *IEEE Communications Magazine*.
- Bluetooth SIG, Inc. (2023). *Bluetooth Technology Overview*. Obtenido de Bluetooth® Technology Website: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>
- CALT©. (2021). *Economical Shaft Rotary Encoder ES38 series*.
- Components 101. (03 de Noviembre de 2018). *HC-06 Bluetooth Module*. Obtenido de <https://components101.com/wireless/hc-06-bluetooth-module-pinout-datasheet>
- Components101. (25 de Septiembre de 2020). *HM-10 Bluetooth Module*. Obtenido de <https://components101.com/wireless/hm-10-bluetooth-module>
- Consuelo E., J. R. (2014). Prototipo de un goniómetro digital empleando el.
- Cuevas, M., de Amirola, M., Romero, O., & Rostro, J. (2015). Goniómetro digital para medir flexo extensión. *MEMORIAS DEL XVII CONCURSO LASALLISTA DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN CLIDI 2015*. Obtenido de <https://repositorio.lasalle.mx/bitstream/handle/lasalle/1840/Goniómetro%20digital%20para%20medir%20flexo%20extensión.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Domínguez , G., Cardiel, E., Arias, S., & Rogeli, P. (2013). A Digital Goniometer Based on Encoders for Measuring Knee-Joint Position in an Orthosis. doi:10.1109/nabic.2013.6617835
- DSD TECH. (1 de 2017). *HM-10 DataSheet*. Obtenido de <https://people.ece.cornell.edu/land/courses/ece4760/PIC32/uart/HM10/DSD%20TECH%20HM-10%20datasheet.pdf>
- EasyEDA. (s.f.). *About EasyEDA*. Obtenido de <https://easyeda.com/page/about>
- Enix Power Solutions. (s.f.). *BMS & PCM*. Obtenido de Sistema de Gestión de Batería y Módulos de Circuito de Protección: <https://www.enix-power-solutions.es/sistema-de-gestion-de-bateria-bms-pcm/>
- Equipos Interferenciales. (2017). *EasyAngle Instrumento de medición 5 en 1*. Obtenido de <https://interferenciales.com.mx/products/easyangle-dispositivo-de-medicion-de-movimiento>
- Fabrication Enterprises Inc. (2023). *Baseline Absolute+Axis Goniometers*. Obtenido de <https://www.fab-ent.com/evaluation/range-of-motion/baseline-absolute-axis-goniometers/>
- Fitz Bumacod, D., Delfin, J., Linsangan, N., & Angelia, R. (2020). Image-Processing-based Digital Goniometer using OpenCV. doi:10.1109/hnicem51456.2020.9400106
- Guangzhou HC Information Technology Co., Ltd. (6 de 04 de 2011). *Product Data Sheet - HC-06*. Obtenido de <https://www.olimex.com/Products/Components/RF/BLUETOOTH-SERIAL-HC-06/resources/hc06.pdf>

- Incze, I. I., Szabó, C., & Imecs, M. (2010). Incremental Encoder in Electrical Drives: Modeling and Simulation. En I. R. (Eds.), *Computational Intelligence in Engineering* (págs. 287-300). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- J. Norhuzaimin, H. M. (2005). The Design of High Speed UART. *2005 Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics*.
- Martínez López, M. A., Ordaz Rivera, J. A., Renero Carrillo, F. J., Soto García, E. M., & Fierro Rojas, J. D. (2023). DISEÑO DE UN GONIÓMETRO DIGITAL MEDIANTE UN ENCODER INCREMENTAL Y ORDENADOR PARA VALORACIÓN ARTICULAR. *Pistas Educativas Vol. 44*, 561-577.
- Microchip Technology Inc. (2007). *Section 15. Quadrature Encoder Interface (QEI)*. Obtenido de <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70208A.pdf>
- Microchip Technology Inc. (2022). *MPLAB® XC16 C Compiler User Guide*. Obtenido de <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/DEV/ProductDocuments/UserGuides/50002071.pdf>
- Microchip Technology Inc. (2023). *MPLAB® X IDE*. Obtenido de <https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/develop/mplab-x-ide>
- Microchip Technology Inc. (2023). *PIC24EP128MC202 | Microchip Technology*. Obtenido de <https://www.microchip.com/en-us/product/PIC24EP128MC202>
- Microsoft. (2023). *SerialPort Class (System.IO.Ports) | Microsoft Learn*. Obtenido de <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/api/system.io.ports.serialport?view=dotnet-plat-ext-7.0>
- Microsoft©. (2023). *What is Windows Forms - Windows Forms .NET | Microsoft Learn*. Obtenido de <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop/winforms/overview/?view=netdesktop-7.0#introduction>
- NanJing Top Power ASIC Corp. (s.f.). *TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8*. Obtenido de <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>
- Norkin, C., & White, D. (2016). *Measurement of Joint Motion, A Guide to Goniometry* (5th ed.). Philadelphia : F.A. Davis Company.
- Ponce Briones, D. K. (2016). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ENTORNOS DE DESARROLLO INTEGRADOS (IDE): ECLIPSE, NETBEANS Y JDEVELOPER PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES JAVA ENTERPRISE EDITION*. Obtenido de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/15862/1/B_CISC_PTG_1185.Ponce%20Briones%20Darwin%20Kleber.pdf
- Rojas Lazo, O., & Rojas Rojas, L. (2006). *Diseño asistido por computador*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/816/81690102.pdf>
- SOLID-BI. (s.f.). *SOLIDWORKS. Qué es y para qué sirve*. Obtenido de <https://solid-bi.es/solidworks/>
- Taboadela, C. H. (2007). *Goniometría : una herramienta para la evaluación de las incapacidades*. Buenos Aires: Asociart ART.
- Tan, V. (s.f.). *SpreadSheetLight*. Obtenido de Open source developer-friendly spreadsheet library compatible with Microsoft Excel 2007/2010/2013 and LibreOffice Calc: <https://spreadsheetlight.com>

- UNIT Electronics. (s.f.). *Bateria LiPo 3.7V 650mAh 802040*. Obtenido de <https://uelectronics.com/producto/bateria-lipo-3-7v-650mah-802040/>
- Valderrama, F., Moreno, H., & Vega, H. M. (2011). Análisis, simulación y control de un convertidor de potencia DC-DC tipo boost. 1.
- Xi'an Aerosemi Technology Co., Ltd. (s.f.). *MT3608 - High Efficiency 1.2 MHz 2A Step Up Converter*. Obtenido de <https://www.olimex.com/Products/Breadboarding/BB-PWR-3608/resources/MT3608.pdf>
- Yadav, D. S., & Singh, A. K. (2004). *Microcontrollers Features and Applications*. New Delhi: New Age International.

Anexos

Anexo A. Código de programación implementado en el microcontrolador

Lenguaje C para compilador XC16. MPLAB X IDE.

```
1. #include "mcc_generated_files/system.h"
2. #include "mcc_generated_files/pin_manager.h"
3. #include "mcc_generated_files/reset_types.h"
4. // #include "mcc_generated_files/i2c1.h"
5.
6. #define FCY 20000000/2
7. #include <libpic30.h>
8.
9. #include <../h/../../dsPIC30F/../../PIC24E/h/p24EP128MC202.h>
10. #include <stdio.h>
11. #include "mcc_generated_files/interrupt_manager.h"
12. #include "seri_lcd.h"
13. #include "pcf8574.h"
14. #include "mcc_generated_files/tmr1.h"
15. #include "mcc_generated_files/uart1.h"
16.
17. int variable;
18. int contadorH;
19. int contadorL;
20. long contador;
21. int velocidad;
22. double velocidad_rpm;
23.
24.
25.
26. char vel_rpm_str[10];
27.
28. void ISR_UART_RX(void);
29. char ReceivedChar;
30.
31.
32. void timerInt(void);
33. int main(void)
34. {
35.     SYSTEM_Initialize();
36.     __delay_ms(500);
37.
38.     QE11CONbits.INTDIV = 0b000; //Prescaler 1:1
39.     QE11OCbits.FLTREN = 1; //Digital filter disabled = 0
40.     QE11CONbits.CCM = 0b00; //Quadrature mode
41.     //QE11STAT.POSOVIRQ //Check Counter overflow
42.     //QE11STAT.VELOVIRQ //Check Velocity overflow
43.
44.     QE11CONbits.QE1EN = 1;
45.
46.
47.     INTERRUPT_GlobalEnable();
48.
49.     TMR1_SetInterruptHandler(timerInt);
50.     TMR1_Start();
51.
52.     //UART1_SetRxInterruptHandler(ISR_UART_RX);
53.
54.
55.
56.     while (1)
57.     {
58.         LED1_Toggle();
59.         __delay_ms(100);
60.
61.         contadorL = POS1CNTL;
62.
63.         if (contadorL < 0)
64.         {
65.             contadorL = contadorL*-1;
66.         }
67.
68.         printf("CONTADOR: %i \n", contadorL);
69.     }
```

```
70.
71.     return 0;
72. }
73.
74. void timerInt(void)
75. {
76.     LED_TMR_Toggle();
77.     velocidad = VEL1CNT;
78. }
79.
80. /*
81. void ISR_UART_RX()
82. {
83.     if((U1STAbits.URXDA == 1))
84.     {
85.         ReceivedChar = U1RXREG;
86.         printf("%c", ReceivedChar);
87.         if(ReceivedChar == 'a')
88.         {
89.             LED2_Toggle();
90.         }
91.     }
92.
93.
94.     IFS0bits.U1RXIF = 0;
95. }
96. */
```

Anexo B. Código de programación implementado para la interfaz de escritorio

Lenguaje C# en Windows Forms. Visual Studio 2019 IDE.

```
1. using SpreadsheetLight;
2. using System;
3. using System.Collections.Generic;
4. using System.ComponentModel;

5. using System.Data;
6. using System.Drawing;
7. using System.IO;
8. using System.IO.Ports;
9. using System.Linq;

10. using System.Text;
11. using System.Threading.Tasks;
12. using System.Windows.Forms;
13.
14. namespace Interfaz_Goniómetro_w_GE
15. {
16.
17.     public partial class Form_Main : Form
18.     {
19.         public Form_Main()
20.         {
21.             InitializeComponent();
22.             inicializarDataGridView();
23.         }
24.
25.         string path_cargaDocumento;
26.         int indiceReglon = 2; //Inicio del contenido
27.         public List<lecturasViewModel> lista = new List<lecturasViewModel>();
28.         int indiceReglonABorrar;
29.         string pathGuardarDocumento;

30.
31.         string valorGeneral_angulo_str = "- - -";
32.         double valorGeneral_angulo_double;
33.         int valorGeneral_angulo_int;
34.         double valorAngulo_indicador;

35.
36.         //*****TABLA Y VINCULO CON EXCEL*****//
37.
38.         private void button_cargarExcel_Click(object sender, EventArgs e)
39.         {
40.             //*****timer_request.Enabled = false;
41.             inicializarDataGridView();
42.             dataGridView_datosCaptura.DataSource = null;
43.             dataGridView_datosCaptura.Columns.Clear();
44.             //Abrir Ventana para importar Excel

45.             OpenFileDialog ventanaAbrirDocumento = new OpenFileDialog();
46.             ventanaAbrirDocumento.Title = "Seleccionar documento";
47.             ventanaAbrirDocumento.CheckFileExists = true;
48.             ventanaAbrirDocumento.Filter = "Documento de Excel (*.xlsx)|*.xlsx|Todos los
archivos (*.*)|*.*";
49.             ventanaAbrirDocumento.FilterIndex = 1;

50.
51.             if (ventanaAbrirDocumento.ShowDialog() == DialogResult.OK)
52.             {
53.                 try
54.                 {
55.                     path_cargaDocumento = @ventanaAbrirDocumento.FileName;
56.                     label_path.Text = path_cargaDocumento;
57.                 }
58.                 catch (Exception ex)
59.                 {
60.                     MessageBox.Show(ex.Message);
61.                 }
62.             }
63.
64.
65.             try
66.             {
67.                 SLDocument documento = new SLDocument(path_cargaDocumento);
68.                 indiceReglon = 2; //Inicio del contenido
```

```

69.
70.         lista.Clear();
71.
72.         while (!string.IsNullOrEmpty(documento.GetCellValueAsString(indiceReglon, 1)
73.     ))
74.         {
75.             lecturasViewModel oLectura = new lecturasViewModel();
76.
77.             oLectura.fecha_hora = documento.GetCellValueAsString(indiceReglon, 1);
78.             oLectura.articulacion = documento.GetCellValueAsString(indiceReglon, 2);
79.             oLectura.valor_angular = documento.GetCellValueAsString(indiceReglon, 3);
80.
81.             oLectura.comentario = documento.GetCellValueAsString(indiceReglon, 4);
82.
83.             lista.Add(oLectura);
84.             indiceReglon++;
85.         }
86.
87.         dataGridView_datosCaptura.DataSource = lista;
88.         label_path.Text = path_cargaDocumento;
89.         label_path.Visible = true;
90.
91.         actualizarEncabezados();
92.     }
93.     catch (Exception ex)
94.     {
95.         MessageBox.Show(ex.Message);
96.     }
97.
98.     button_abrirDocExportado.Enabled = false;
99.     pictureBox_checked.Visible = false;
100.    pictureBox_checked.Visible = false;
101.
102.    if (serialPort1.IsOpen)
103.    {
104.        //*****timer_request.Enabled = true;
105.    }
106.
107.    private void button_LECTURA_Click(object sender, EventArgs e)
108.    {
109.        //*****timer_request.Enabled = false;
110.
111.        dataGridView_datosCaptura.DataSource = null;
112.        dataGridView_datosCaptura.Columns.Clear();
113.
114.        lecturasViewModel oLectura = new lecturasViewModel();
115.        oLectura.fecha_hora = DateTime.Now.ToString();
116.        oLectura.articulacion = textBox_articulacion.Text;
117.        oLectura.valor_angular = valorGeneral_angulo_str ; //EDITAR
118.        oLectura.comentario = textBox_Comentario.Text;
119.
120.        lista.Add(oLectura);
121.
122.        dataGridView_datosCaptura.DataSource = lista;
123.        indiceReglon++;
124.
125.        actualizarEncabezados();
126.
127.        dataGridView_datosCaptura.FirstDisplayedScrollingRowIndex = dataGridView_datosCap
128.        tura.RowCount - 1;
129.
130.        label_path.Visible = false;
131.        button_abrirDocExportado.Enabled = false;
132.        pictureBox_checked.Visible = false;
133.        pictureBox_checked.Visible = false;
134.
135.        if (serialPort1.IsOpen)
136.        {
137.            //*****timer_request.Enabled = true;
138.        }
139.
140.    }
141.
142.    private void button_limpiarTabla_Click(object sender, EventArgs e)

```

```

140.     {
141.         lista.Clear();
142.
143.         dataGridView_datosCaptura.Columns.Clear();
144.         inicializarDataGridView();
145.
146.         label_path.Visible = false;
147.
148.         button_abrirDocExportado.Enabled = false;
149.         pictureBox_checked.Visible = false;
150.         pictureBox_checked.Visible = false;
151.     }
152.
153.     private void cellClickDGV(object sender, DataGridViewCellEventArgs e)
154.     {
155.         indiceReglonABorrar = e.RowIndex;
156.     }
157.     private void button_borrarLectura_Click(object sender, EventArgs e)
158.     {
159.         //*****timer_request.Enabled = false;
160.         try
161.         {
162.             lista.RemoveAt(indiceReglonABorrar);
163.
164.             dataGridView_datosCaptura.DataSource = null;
165.             dataGridView_datosCaptura.Columns.Clear();
166.             dataGridView_datosCaptura.DataSource = lista;
167.
168.
169.         }
170.         catch(Exception ex)
171.         {
172.             MessageBox.Show(ex.Message);
173.         }
174.
175.         actualizarEncabezados();
176.         button_abrirDocExportado.Enabled = false;
177.         pictureBox_checked.Visible = false;
178.         pictureBox_checked.Visible = false;
179.         label_path.Visible = false;
180.
181.         if (serialPort1.IsOpen)
182.         {
183.             //*****timer_request.Enabled = true;
184.         }
185.     }
186.
187.     private void button_exportarExcel_Click(object sender, EventArgs e)
188.     {
189.         //*****timer_request.Enabled = false;
190.         button_abrirDocExportado.Enabled = false;
191.         pictureBox_checked.Visible = false;
192.         pictureBox_checked.Visible = false;
193.
194.         SLDocument documentoExp = new SLDocument();
195.         SLStyle estiloEncabezados = new SLStyle();
196.         estiloEncabezados.Font.Bold = true;
197.         estiloEncabezados.SetHorizontalAlignment(DocumentFormat.OpenXml.Spreadsheet.HorizontalAlignmentValues.Center);
198.
199.         int indiceColumnaExp = 1;
200.         foreach (DataGridViewColumn columna in dataGridView_datosCaptura.Columns)
201.         {
202.             documentoExp.SetCellValue(1, indiceColumnaExp,
203.             columna.HeaderText.ToString());
204.             documentoExp.SetCellStyle(1, indiceColumnaExp, estiloEncabezados);
205.             indiceColumnaExp++;
206.         }
207.         int indiceReglonExp = 2;
208.         foreach (DataGridViewRow renglon in dataGridView_datosCaptura.Rows)
209.         {
210.

```

```

211.         documentoExp.SetCellValue(indiceRenglonExp, 1,
renglon.Cells[0].Value.ToString());
212.         documentoExp.SetCellValue(indiceRenglonExp, 2,
renglon.Cells[1].Value.ToString());
213.         documentoExp.SetCellValue(indiceRenglonExp, 3,
renglon.Cells[2].Value.ToString());
214.         documentoExp.SetCellValue(indiceRenglonExp, 4,
renglon.Cells[3].Value.ToString());

215.
216.         indiceRenglonExp++;
217.
218.     }
219.
220.     documentoExp.SetColumnWidth(1, 30);
221.     documentoExp.SetColumnWidth(2, 20);
222.     documentoExp.SetColumnWidth(3, 15);
223.     documentoExp.SetColumnWidth(4, 50);
224.
225.     try
226.     {
227.         SaveFileDialog ventanaGuardarDocumento = new SaveFileDialog();
228.         ventanaGuardarDocumento.Title = "Guardar archivo";
229.         ventanaGuardarDocumento.CheckPathExists = true;

230.         ventanaGuardarDocumento.Filter = "Documento de Excel (*.xlsx)|*.xlsx|Todos
los archivos (*.*)|*.*";
231.         ventanaGuardarDocumento.FilterIndex = 1;
232.         ventanaGuardarDocumento.DefaultExt = "xlsx";
233.         ventanaGuardarDocumento.FileName = "Nombre del archivo";
234.         if (ventanaGuardarDocumento.ShowDialog() == DialogResult.OK)
235.         {
236.             try
237.             {
238.                 pathGuardarDocumento = @ventanaGuardarDocumento.FileName;
239.
240.                 documentoExp.SaveAs(pathGuardarDocumento);
241.                 pictureBox_checked.Visible = true;
242.                 button_abrirDocExportado.Enabled = true;
243.                 MessageBox.Show("El documento se guardó con éxito");
244.             }
245.             catch (Exception ex)
246.             {
247.                 MessageBox.Show(ex.Message);
248.                 pictureBox_checked.Visible = false;
249.                 pictureBox_err.Visible = true;

250.                 button_abrirDocExportado.Enabled = false;
251.             }
252.         }
253.
254.     }
255.     catch (Exception ex)
256.     {
257.         MessageBox.Show(ex.Message);
258.         pictureBox_checked.Visible = false;
259.         pictureBox_err.Visible = true;

260.         button_abrirDocExportado.Enabled = false;
261.     }
262.
263.     label_path.Visible = true;
264.     if (serialPort1.IsOpen)
265.     {
266.         //*****timer_request.Enabled = true;
267.     }
268. }
269.
270. private void button_abrirDocExportado_Click(object sender, EventArgs e)
271. {
272.     //*****timer_request.Enabled = false;
273.     try
274.     {
275.         System.Diagnostics.Process.Start(pathGuardarDocumento);
276.     }
277.     catch (Exception ex)
278.     {
279.         MessageBox.Show(ex.Message);

```

```

280.         }
281.         if (serialPort1.IsOpen)
282.         {
283.             //*****timer_request.Enabled = true;
284.         }
285.
286.     }
287.     private void button_borrarTXT_Comentario_Click(object sender, EventArgs e)
288.     {
289.         textBox_Comentario.Text = "";
290.     }
291.
292.     private void button_borrarTXT_Articulacion_Click(object sender, EventArgs e)
293.     {
294.         textBox_articulacion.Text = "";
295.     }
296.
297.     void actualizarEncabezados()
298.     {
299.         dataGridView_datosCaptura.Columns [0].HeaderText = "Fecha y hora";
300.         dataGridView_datosCaptura.Columns [1].HeaderText = "Articulación";
301.         dataGridView_datosCaptura.Columns [2].HeaderText = "Valor angular";
302.         dataGridView_datosCaptura.Columns [3].HeaderText = "Comentario";
303.     }
304.
305.     void inicializarDataGridView()
306.     {
307.         dataGridView_datosCaptura.Columns.Clear();
308.         dataGridView_datosCaptura.Columns.Add("Columna_1", "Fecha y hora");
309.         dataGridView_datosCaptura.Columns.Add("Columna_2", "Articulación");
310.         dataGridView_datosCaptura.Columns.Add("Columna_3", "Valor angular");
311.         dataGridView_datosCaptura.Columns.Add("Columna_4", "Comentario");
312.     }
313.
314.
315.     //*****VINCULACION CON HARDWARE**////////
316.
317.     string valorRecibido;
318.     string valorAngulo_toDisplay;
319.     double valorAngulo_dbl;
320.
321.     private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
322.     {
323.         button_desconectar.Enabled = false;
324.         pictureBox_connected.Visible = false;
325.     }
326.
327.     private void groupBox_confConexion_Enter(object sender, EventArgs e)
328.     {
329.         string[] listaPuertosCOM = SerialPort.GetPortNames();
330.         comboBox1.Items.Clear();
331.         comboBox1.Items.AddRange(listaPuertosCOM);
332.     }
333.
334.     private void button_conectar_Click(object sender, EventArgs e)
335.     {
336.         try
337.         {
338.             serialPort1.PortName = comboBox1.Text;
339.             serialPort1.BaudRate = 9600;
340.             serialPort1.DataBits = 8;
341.
342.             serialPort1.Parity = Parity.None;
343.             serialPort1.StopBits = StopBits.One;
344.             serialPort1.Open();
345.
346.             serialPort1.Write("a"); //*****
347.
348.             button_conectar.Enabled = false;
349.             button_desconectar.Enabled = true;
350.
351.             pictureBox_connected.Visible = true;
352.             pictureBox_disconnected.Visible = false;
353.             button_LECTURA.Enabled = true;
354.             //*****timer_request.Enabled = true;

```

```

354.         button_LECTURA.Focus();
355.     }
356.     catch(Exception ex)
357.     {
358.         MessageBox.Show(ex.Message);
359.     }
360. }
361.
362. private void button_desconectar_Click(object sender, EventArgs e)
363. {
364.     try
365.     {
366.         serialPort1.Close();
367.
368.         button_conectar.Enabled = true;
369.         button_desconectar.Enabled = false;
370.
371.         pictureBox_connected.Visible = false;
372.         pictureBox_disconnected.Visible = true;
373.         button_LECTURA.Enabled = false;
374.         //*****timer_request.Enabled = false;
375.
376.         valorGeneral_angulo_double = 0;
377.         valorAngulo_indicador = 0;
378.         valorGeneral_angulo_str = " - - ";
379.     }
380.     catch(Exception ex)
381.     {
382.         MessageBox.Show(ex.Message);
383.     }
384. }
385.
386. private void Form1_FormClosing(object sender, FormClosingEventArgs e)
387. {
388.     try
389.     {
390.         serialPort1.Close();
391.
392.         //*****timer_request.Enabled = false;
393.     }
394.     catch(Exception ex)
395.     {
396.         MessageBox.Show(ex.Message);
397.     }
398. }
399.
400. public void serialPort1_DataReceived(object sender, SerialDataReceivedEventArgs e)
401. {
402.     try
403.     {
404.
405.         valorRecibido = serialPort1.ReadTo("#");
406.
407.         serialPort1.Write("a");
408.
409.
410.
411.
412.
413.
414.         this.BeginInvoke(new EventHandler(procesoDatosRecibidos));
415.
416.
417.
418.
419.
420.
421.
422.
423.
424.     }
425.     catch (Exception ex)
426.     {
427.         serialPort1.Close();

```

```

428.         MessageBox.Show(ex.Message);
429.
430.     }
431.
432. }
433.
434.     public void procesoDatosRecibidos(object sender, EventArgs e)
435.     {
436.         try
437.         {
438.             valorAngulo_dbl = (double.Parse(valorRecibido) / (360.0*(4.0/360.0))); //
439. //Actualizar por resolucio de encoder
440.             if ((valorAngulo_dbl) > 0 && (valorAngulo_dbl<=180))
441.             {
442.                 valorAngulo_toDisplay = valorAngulo_dbl + "°";
443.             }
444.             else
445.             {
446.                 if(valorAngulo_dbl == 0)
447.                 {
448.                     valorAngulo_toDisplay = "0°";
449.                 }
450.                 else if(valorAngulo_dbl < 0)
451.                 {
452.                     valorAngulo_toDisplay = "< 0°";
453.                 }
454.                 else if(valorAngulo_dbl > 180)
455.                 {
456.                     valorAngulo_toDisplay = "> 180°";
457.                 }
458.             }
459.
460.             valorGeneral_angulo_str = valorAngulo_toDisplay;
461.             valorGeneral_angulo_double = valorAngulo_dbl;
462.
463.
464.
465.         }
466.         catch (Exception ex)
467.         {
468.             //MessageBox.Show(ex.Message);/////ERROR DE CADENA
469.             MessageBox.Show("Se aplicó un reset", "RESET",MessageBoxButtons.OK,
470. MessageBoxIcon.Information);
471.
472.         }
473.
474.
475.     private void timer_request_Tick(object sender, EventArgs e)
476.     {
477.         try
478.         {
479.             if (serialPort1.IsOpen)
480.             {
481.                 //*****serialPort1.Write("a");
482.             }
483.             else
484.             {
485.                 this.BeginInvoke(new EventHandler (button_desconectar_Click));
486.                 MessageBox.Show("Se desconectó el dispositivo. Verificar
487. conexión.", "Verficar Conexión", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
488.             }
489.         }
490.         catch(Exception ex)
491.         {
492.             serialPort1.Close();
493.             MessageBox.Show(ex.Message);
494.             MessageBox.Show("Se desconectó el dispositivo. Verificar conexión.", "Verficar
495. Conexión",MessageBoxButtons.OK,MessageBoxIcon.Error);
496.         }
497.

```

```

498.
499.     //*****INDICADOR GRÁFICO****//
500.
501.     public void actualizar_posicion_indicador()
502.     {
503.         if (valorAngulo_dbl > 0 && valorAngulo_dbl <= 180)
504.         {
505.             valorAngulo_indicador = (- valorGeneral_angulo_double) + 0.5;
506.         }
507.
508.         else
509.         {
510.             valorAngulo_indicador = 0;
511.         }
512.
513.         gauge_m11.gauge_angle_value = valorAngulo_indicador;
514.         gauge_m11.rotar();
515.         gauge_m11.gauge_angle_value = valorAngulo_indicador;
516.     }
517.
518.     private void timer_actualizarValores_Tick(object sender, EventArgs e)
519.     {
520.         if (!(valorAngulo_toDisplay == null))
521.         {
522.             label_AnguloDisplay.Text = valorGeneral_angulo_str;
523.         }
524.
525.         actualizar_posicion_indicador();
526.
527.     }
528.
529.
530.
531.     }
532. }

```

Anexo C. Manual de instalación, uso de opciones de interfaz y carga de batería del goniómetro digital.

Sistema operativo: Windows 10.

Instalación de interfaz.

- 1- Identificar el archivo ejecutable “setup.exe” en la serie de archivos de instalación y abrir.

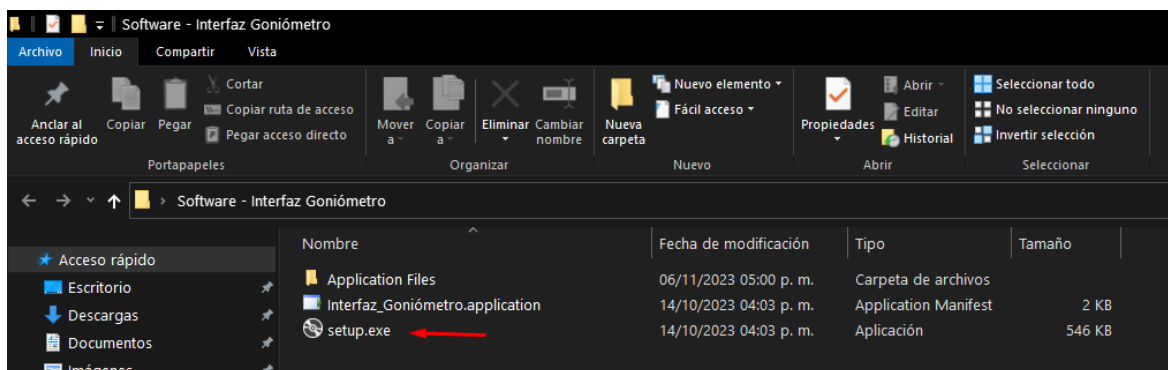


Figura 63. Archivo ejecutable en el Explorador de Windows.

- 2- Seleccionar “Instalar” en la nueva ventana.

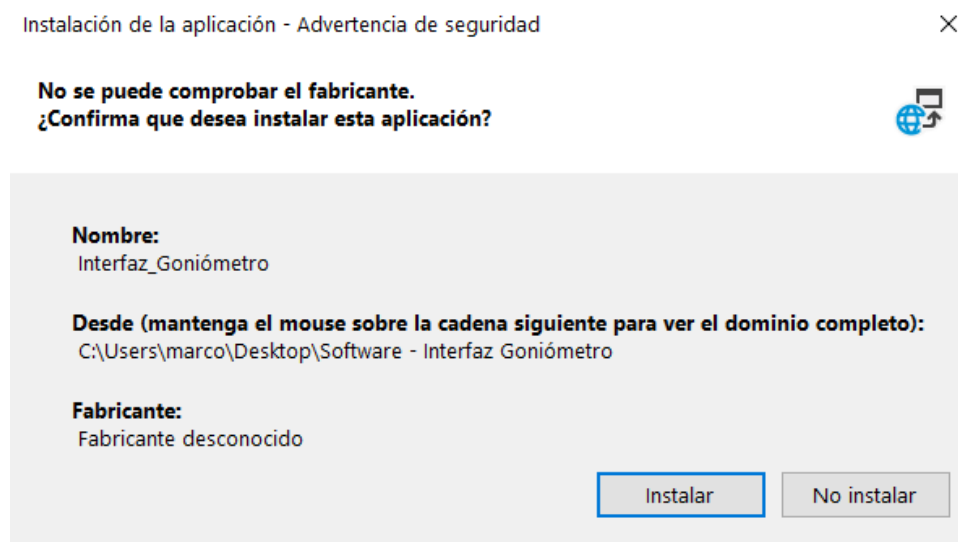


Figura 64. Ventana de instalación del software.

3- Se completará la instalación.

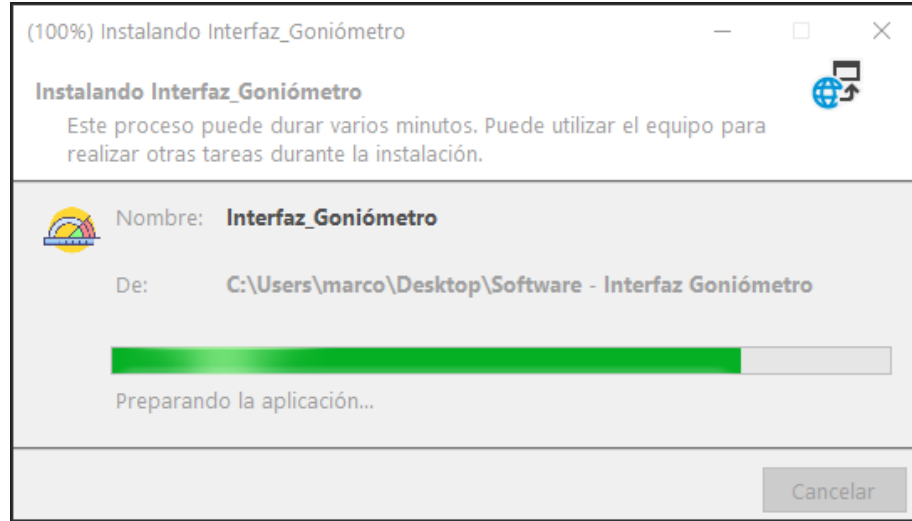


Figura 65. Ventana de instalación completa de la interfaz.

Emparejamiento del dispositivo.

4- Ubicar el switch en posición de encendido en el goniómetro digital. Se encenderá el indicador "Conexión" en color azul, denota que el dispositivo está encendido, pero no se encuentra conectado a la interfaz aún.



Figura 66. Ubicación del switch de encendido y apagado.

5- Abrir la configuración de Windows desde el menú de inicio.

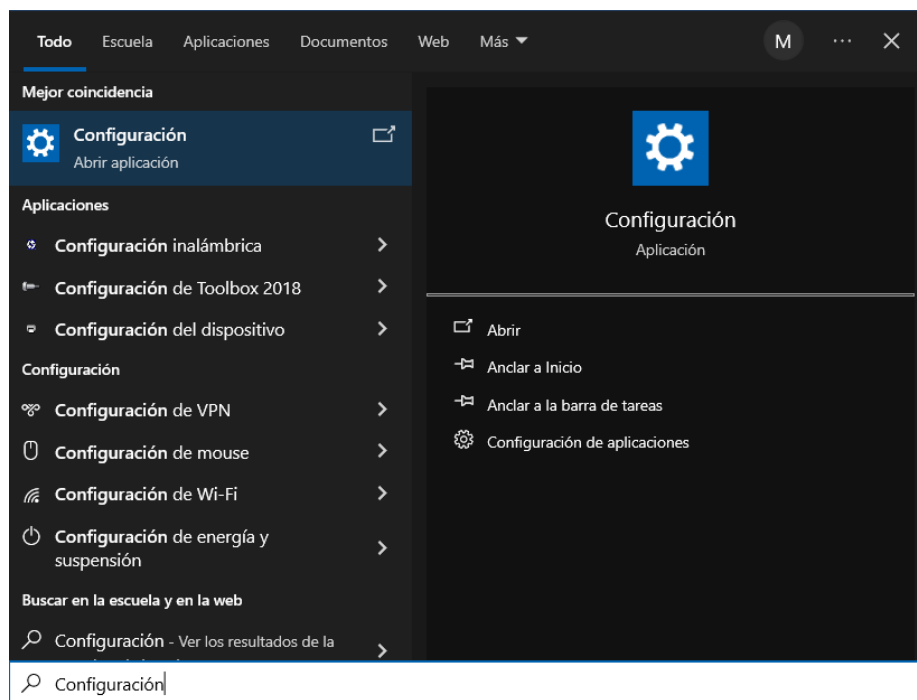


Figura 67. Acceso a configuración desde el menú de inicio.

6- Ingresar a “Dispositivos”

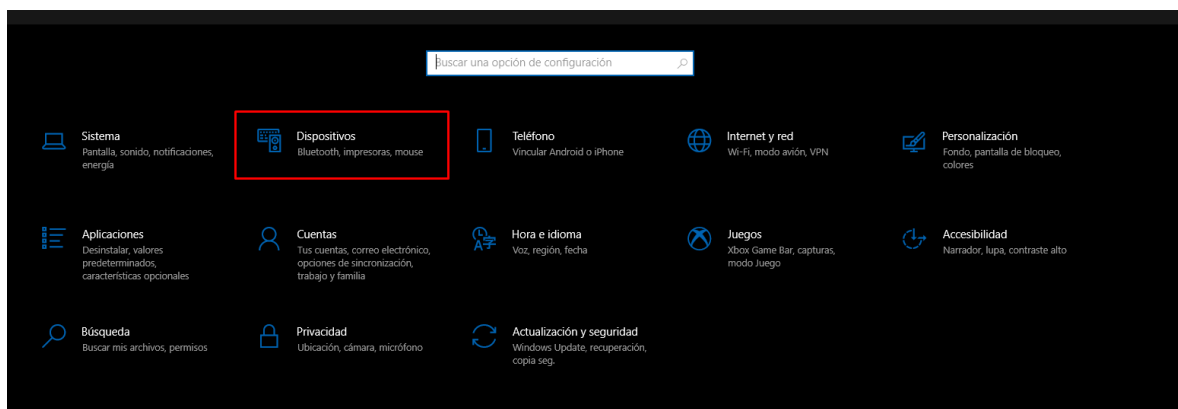


Figura 68. Vista de la configuración para acceder a los dispositivos.

7- Seleccionar “Agregar Bluetooth u otro dispositivo”

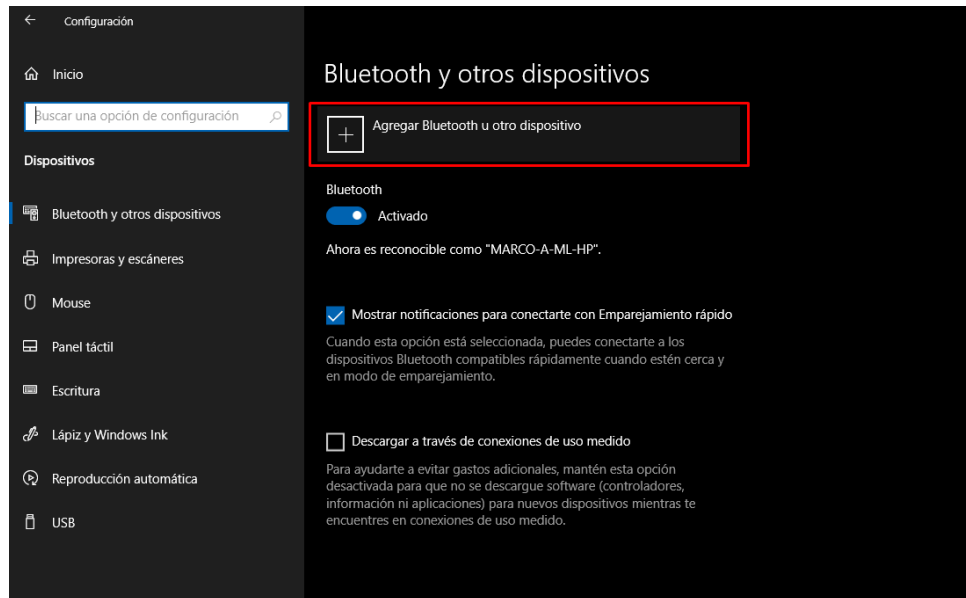


Figura 69. Opción para agregar dispositivos.

8- En la nueva ventana seleccionar “Bluetooth”

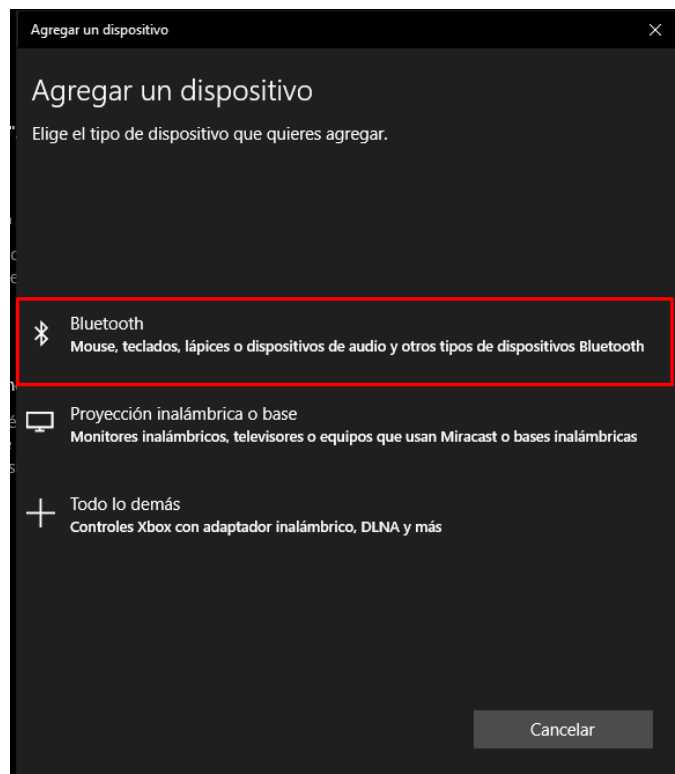


Figura 70. Asistente de agregar dispositivos.

9- Identificar “GONIOMETRODIGITAL” y seleccionar.

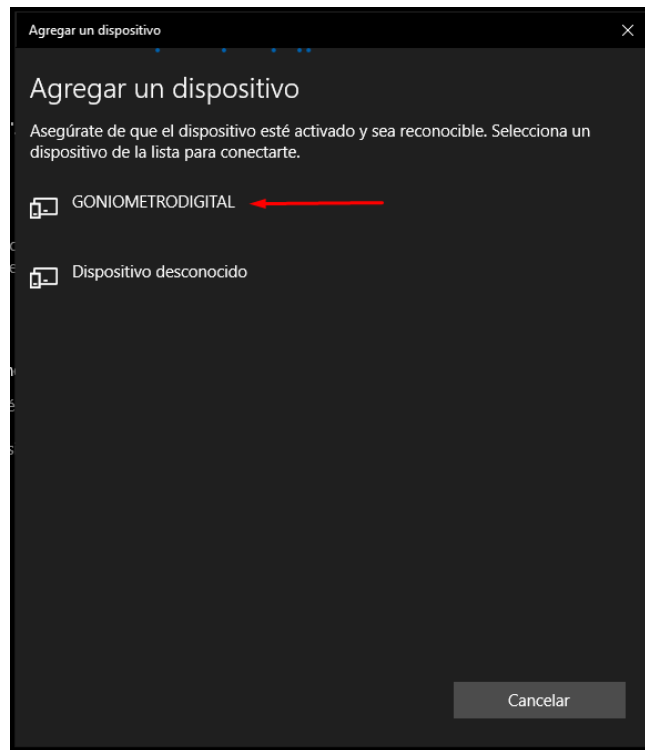


Figura 71. Goniómetro digital mostrado en dispositivos detectados.

10- Ingresar el pin por defecto “1234” y seleccionar “Conectar”.

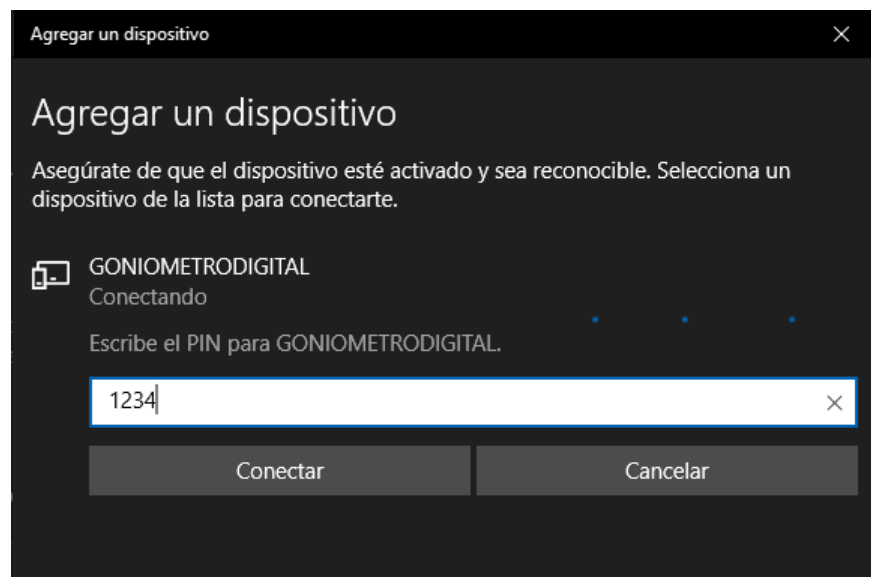


Figura 72. Ingreso del pin para la vinculación.

11-Se ha emparejado el dispositivo por Bluetooth.

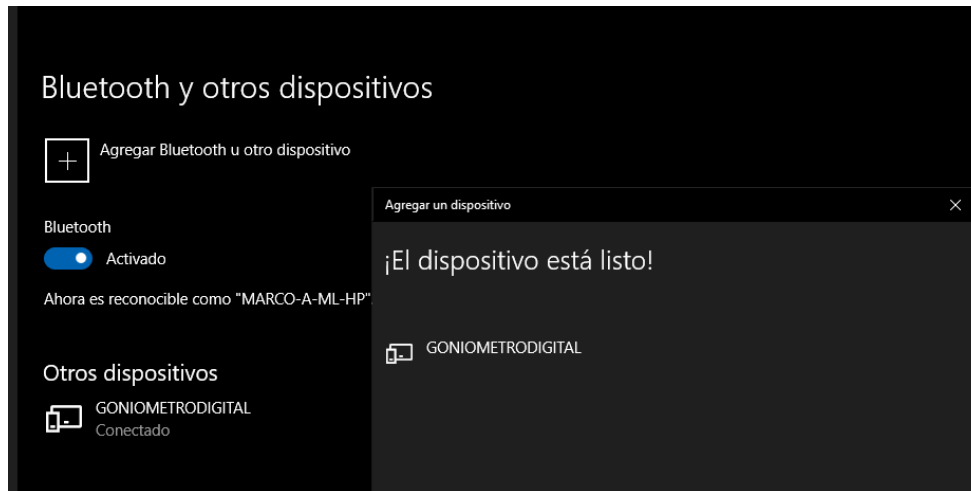


Figura 73. Notificación de emparejamiento exitoso.

12-Abrir el Panel de control de Windows desde el menú de inicio de Windows.

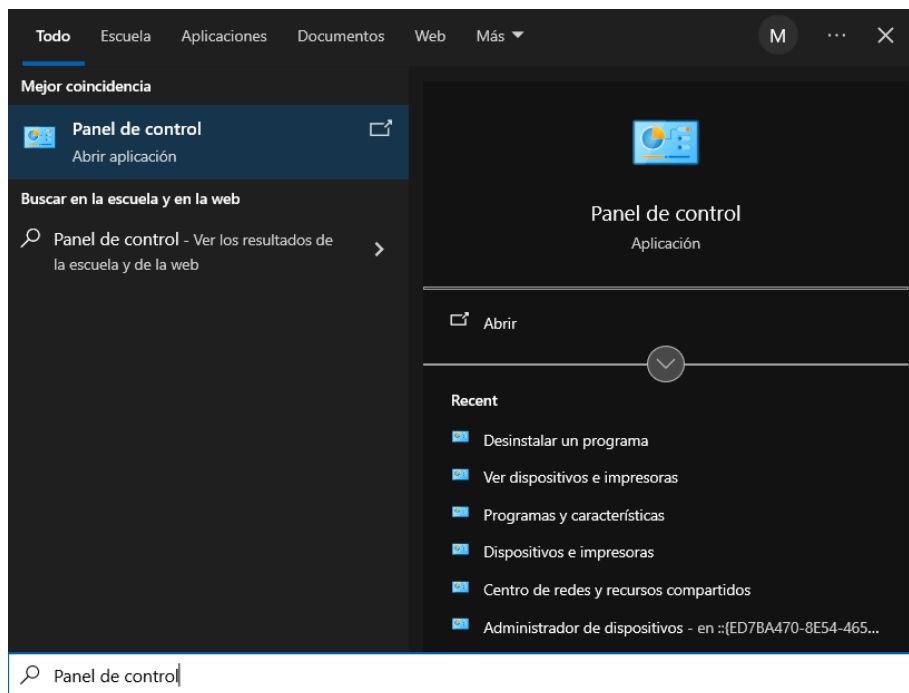


Figura 74. Acceso al Panel de control desde el menú de inicio.

13-Seleccionar “Ver dispositivos e impresoras”

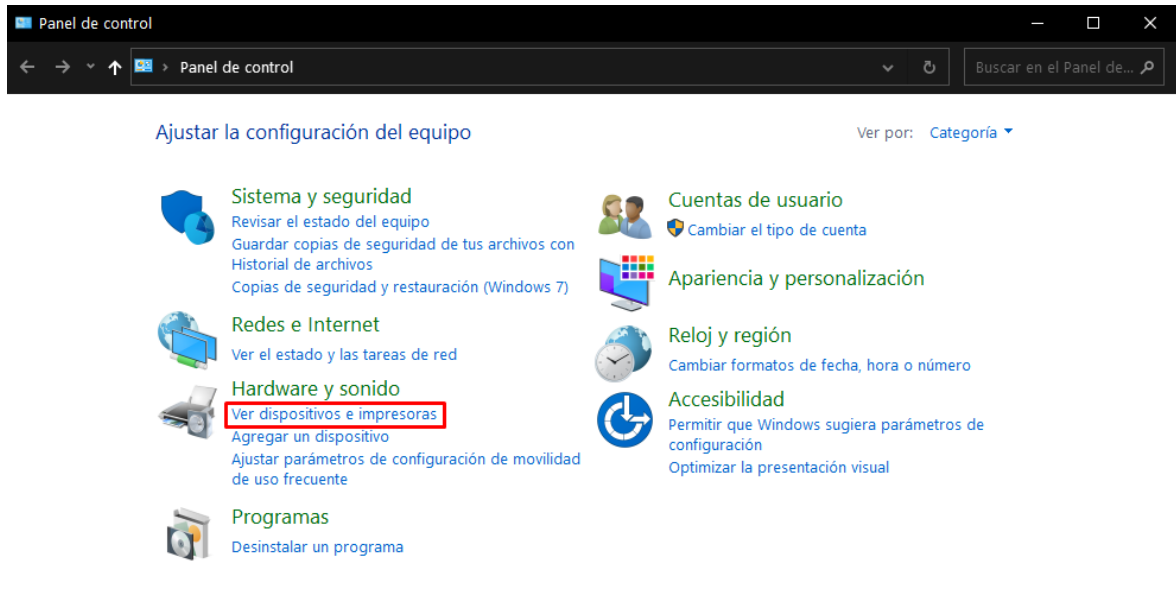


Figura 75. Ubicación de la opción para acceder a la lista de dispositivos e impresoras.

14-Localizar el dispositivo “GONIOMETRODIGITAL”, click derecho y seleccionar “Propiedades”

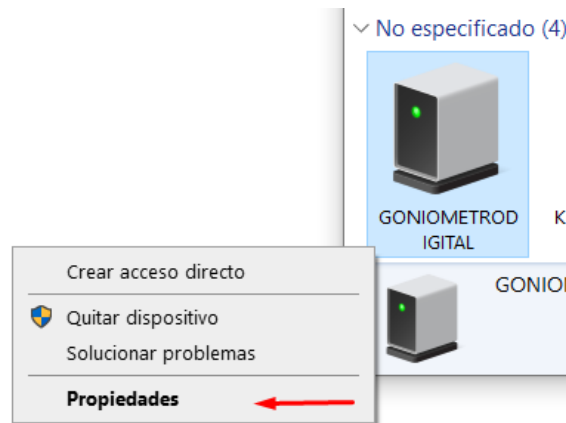


Figura 76. Localización del dispositivo.

15-En la pestaña “Servicios” marcar la opción “Puerto serie (SSP) “Port””, identificar el puerto COM asignado, en el ejemplo <COM5> y click en “Aceptar”.

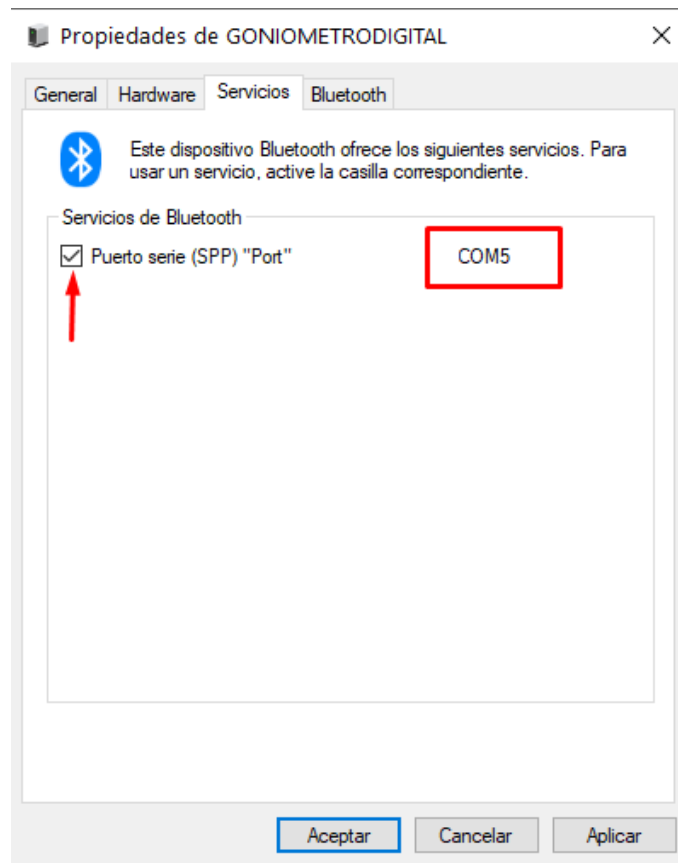


Figura 77. Puerto COM en las propiedades del dispositivo.

Nota: Los pasos previos sólo se requieren realizar una vez. A continuación, se considerarán los pasos para la rutina de uso del goniómetro digital.

Secuencia de pasos para uso del dispositivo goniómetro digital.

1- Abrir el software de interfaz para goniómetro instalada.

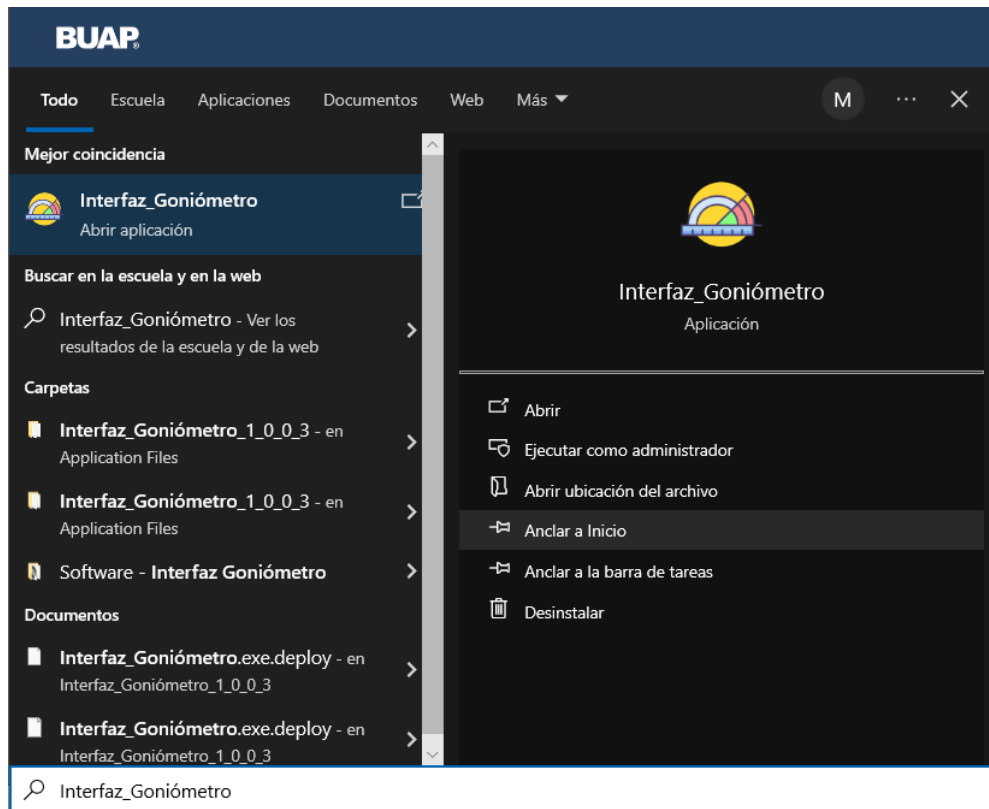


Figura 78. Acceso al software de interfaz desde el menú de inicio.

2- Localizar en la lista de “Puerto de conexión” el puerto COM identificado en el punto 15 de la sección de instalación.

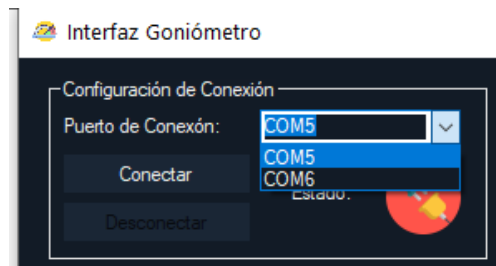


Figura 79. Lista de puertos COM en la interfaz.

3- Click en “Conectar”.

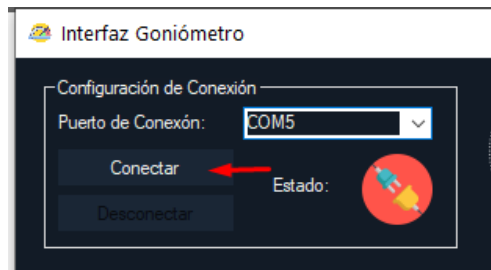


Figura 80. Botón de conexión.

4- Si la conexión es exitosa cambiará a color verde el indicador de “Estado”.

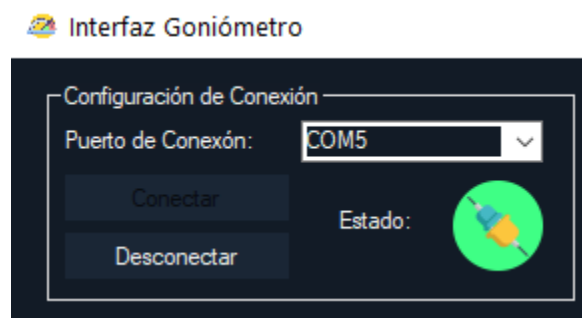


Figura 81. Cambio en el indicador de conexión.

De igual manera el indicador de “Conexión” en el dispositivo cambiará a color verde.



Figura 82. Indicador LED del estado de conexión.

Cada cambio de estado encendido-apagado refleja el envío de una actualización del valor en la comunicación con el software ejecutándose en la computadora.

- 5- Mientras ambos indicadores se encuentren reflejando una conexión se observa el sistema como se muestra.



Figura 83. Vista de la interfaz en conjunto con el goniómetro digital.

A partir de entonces el indicador numérico y gráfico se actualizará conforme se modifique el cambio en el ángulo entre los brazos del dispositivo.

- 6- Para ajusta la referencia es requerido aplicar un Reset al dispositivo mientras se encuentra ajustado en la posición de alineación de los brazos.



Figura 84. Alineación de los brazos del goniómetro.

El reset se aplica presionando brevemente el botón mostrado.



Figura 85. Botón de reset.

Se mostrará un mensaje notificando el reset.

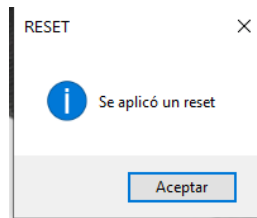


Figura 86. Notificación de reset aplicado.

Y a partir de ahora se puede realizar la medición, recurriendo a la secuencia de uso descrita en la sección 1.8.4 de este documento.

- 7- Se recomienda hacer uso de las opciones de “Articulación” y “Comentario” al elegir una opción e ingresar un texto que sirva al usuario al agregar información adicional al valor angular por medir.

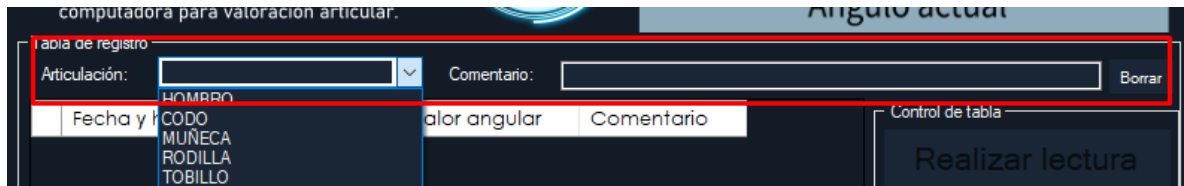


Figura 87. Localización de los campos de “Articulación” y “Comentario”

- 8- Debemos identificar si se trata de:
 - a. Un seguimiento nuevo.
 - b. Un seguimiento por continuar.

Para el caso a) Seguimiento nuevo. Se debe hacer click sobre el botón “Realizar lectura” y de esta manera se mostrará una nueva fila en la tabla de registro con los valores actuales correspondientes a la Fecha y hora, el texto ingresado en los campos para “Articulación” y “Comentario” y por supuesto el valor angular en ese momento.

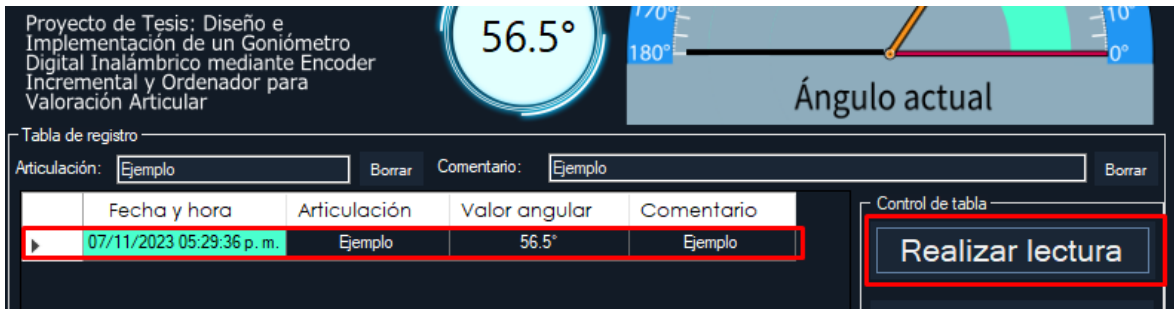


Figura 88. Botón de lectura y primer registro.

Es conveniente usar el campo dedicado a ingresar el nombre del paciente que a su vez será el nombre del archivo a exportar.



Figura 89. Campo para el nombre del paciente.

Para el caso b) Seguimiento por continuar es requerido usar el botón “Cargar Documento Excel”, desplegándose una ventana para seleccionar el archivo previamente generado por el mismo software.

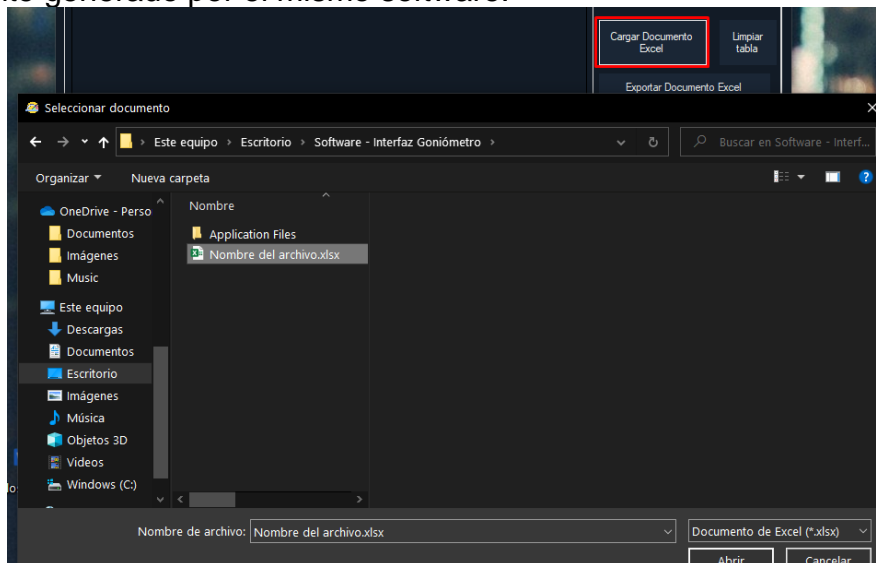


Figura 90. Ventana para carga de registro previo.

9- Se tiene la posibilidad de borrar una fila en caso de ser requerido, para ello se debe seleccionar con un click cualquier celda de la fila que se quiere eliminar y

posteriormente usar el botón “Borrar lectura seleccionada”.



Figura 91. Selección de fila a borrar de la tabla.

10-También es posible borrar todos los registros de la tabla de manera rápida usando el botón “Limpiar la tabla”



Figura 92. Botón de limpiar la tabla.

11-Una vez registradas las lecturas de la sesión para guardar la información se usa el botón “Exportar Documento Excel”, se abrirá una nueva ventana para elegir la ubicación y el nombre.

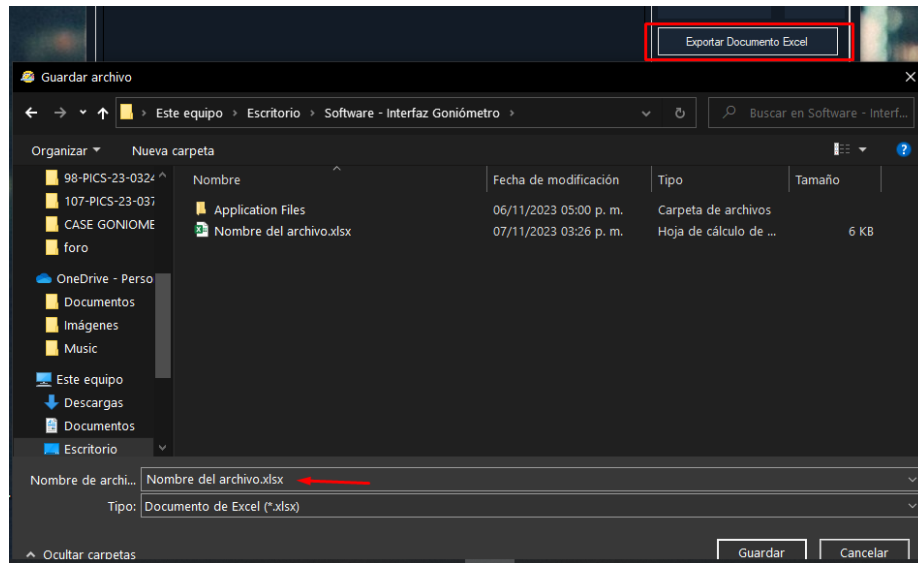


Figura 93. Ventana para la localización del archivo .xlsx generado.

12-Tendremos una notificación si el guardado se realizó correctamente y ahora se habilita el botón “Abrir documento exportado”

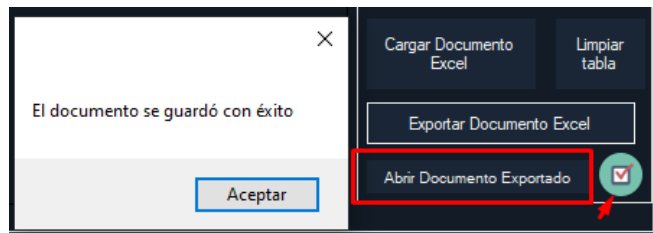


Figura 94. Mensaje de exportación completada.

13-Al usar el botón “Abrir Documento Exportado” se abrirá automáticamente Microsoft Excel con el archivo.

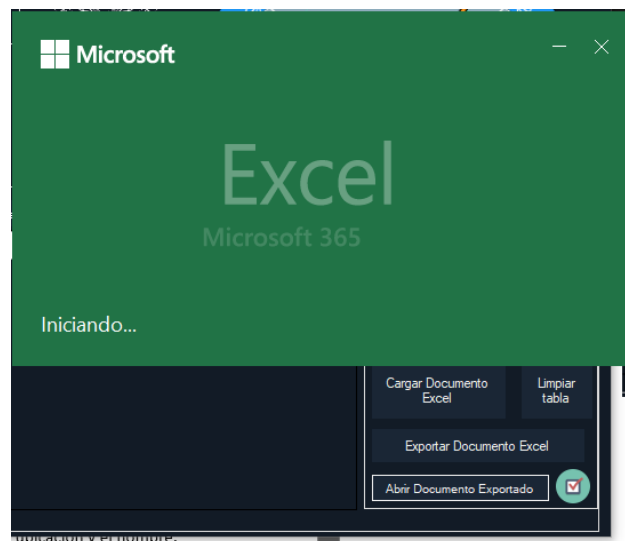
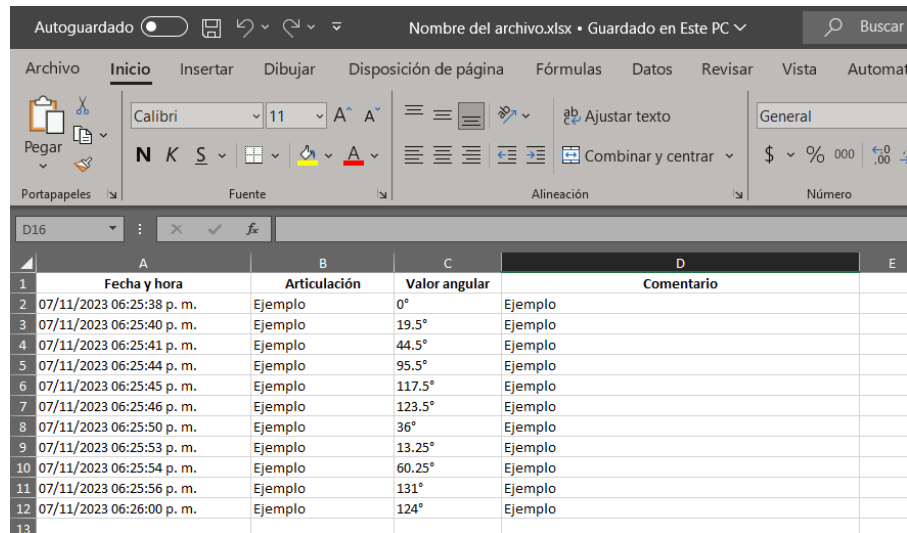


Figura 95. Archivo generado por abrirse.

14-Dentro de Microsoft Excel se visualizará la información registrada y podrá ser utilizada para posteriores análisis.



The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the 'Inicio' (Home) ribbon selected. The ribbon includes options for font (Calibri, size 11), paragraph (text alignment, bulleted list, numbered list), and styles (background color, text color). The spreadsheet area displays a table with the following data:

	A	B	C	D	E
1	Fecha y hora	Articulación	Valor angular	Comentario	
2	07/11/2023 06:25:38 p. m.	Ejemplo	0°	Ejemplo	
3	07/11/2023 06:25:40 p. m.	Ejemplo	19.5°	Ejemplo	
4	07/11/2023 06:25:41 p. m.	Ejemplo	44.5°	Ejemplo	
5	07/11/2023 06:25:44 p. m.	Ejemplo	95.5°	Ejemplo	
6	07/11/2023 06:25:45 p. m.	Ejemplo	117.5°	Ejemplo	
7	07/11/2023 06:25:46 p. m.	Ejemplo	123.5°	Ejemplo	
8	07/11/2023 06:25:50 p. m.	Ejemplo	36°	Ejemplo	
9	07/11/2023 06:25:53 p. m.	Ejemplo	13.25°	Ejemplo	
10	07/11/2023 06:25:54 p. m.	Ejemplo	60.25°	Ejemplo	
11	07/11/2023 06:25:56 p. m.	Ejemplo	131°	Ejemplo	
12	07/11/2023 06:26:00 p. m.	Ejemplo	124°	Ejemplo	
13					

Figura 96. Vista del archivo generado desde Microsoft Excel.

Carga del goniómetro digital.

El dispositivo se carga por medio del puerto Micro-USB [5V – Al menos 500mA].

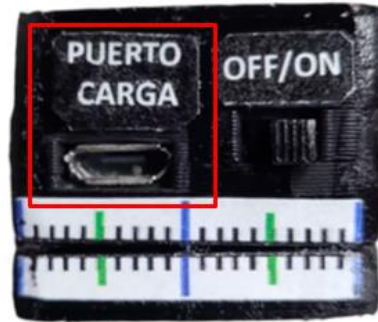


Figura 97. Puerto de carga Micro-USB.

Una vez conectado el indicador de “Carga” se iluminará en color rojo.



Figura 98. Indicador "cargando"

Una carga completa requiere un tiempo de 1.5-2 horas.
En cuanto se ha completado la carga el indicador cambiará a color verde.



Figura 99. Indicador "cargado"

Anexo D. Participación en congreso SENIE 2022



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA Casa abierta al tiempo **AMM** Azcapotzalco

XVIII SEMANA NACIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SENIE 2022
III SEMANA IBEROAMERICANA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

CBI DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA UAM - Azcapotzalco

La Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco a través de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería

OTORGA LA CONSTANCIA DE PARTICIPACIÓN A:

Marco Antonio Martínez López, Jesús Alberto Ordaz Rivera, Francisco Javier Renero Carrillo y Jorge Dionisio Fierro Rojas.

Por la presentación del artículo titulado:

Diseño de un goniómetro digital mediante un encoder incremental y ordenador para valoración articular.

Durante la “XVIII Semana Nacional de Ingeniería Electrónica” y “III Semana Iberoamericana de Ingeniería Electrónica” celebrada del 19 al 21 de Octubre del 2022 en la Ciudad de México


Dra. Teresa Merchand Hernández
Directora de la División de CBI
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco


Dr. Miguel Magos Rivera
Presidente del Comité Organizador
SENIE 2022


M. en C. Roberto Alfonso Alcántara Ramirez
Encargado del Departamento de Electrónica
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco