



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS AEROPUERTO

**“DISEÑO DE HERRAMIENTA PARA EL DIAGNÓSTICO DE
ESCOLIOSIS UTILIZANDO SENSORES DE POSICIÓN”**

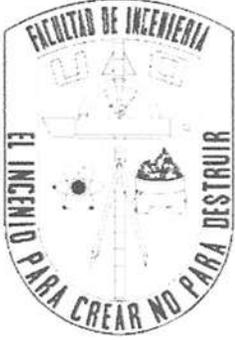
TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO BIOMÉDICO

PRESENTA

ANDREA ELIZABETH RIVERA PATLÁN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS AEROPUERTO**

**“DISEÑO DE HERRAMIENTA PARA EL DIAGNÓSTICO DE
ESCOLIOSIS UTILIZANDO SENSORES DE POSICIÓN”**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO BIOMÉDICO**

PRESENTA

ANDREA ELIZABETH RIVERA PATLÁN

DIRIGIDA POR

DRA. GEORGINA DEL CARMEN MOTA VALTIERRA

SINODALES

DRA. GEORGINA DEL CARMEN MOTA VALTIERRA

GEORGINA MOTA

DIRECTORA

M. EN C. LUISA RAMIREZ GRANADOS

[Signature]

SECRETARIA

DR. CARLOS ANDRÉS PERÉZ RÁMIREZ

SINODAL

M. EN C. ARTURO HERNÁNDEZ MEDINA

[Signature]

SINODAL

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2022.

DEDICATORIA

A Moka, quien estuvo conmigo a lo largo de todo este proceso.

A mí misma, por un arduo trabajo en medio de una pandemia.

A todos los que creyeron en mí y en este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis es el resumen de un año y medio de trabajo, pausas y retrasos debido a las condiciones sanitarias en el mundo, sin embargo, no hubiera sido posible sin el apoyo de cada una de estas personas:

Gracias a mis padres, por brindarme la oportunidad de estudiar la universidad lejos de casa y apoyarme en cada paso, creer en mí y presionarme a ser mejor cada día. Gracias a mi hermana, por ser la inspiración para este proyecto, por siempre creer en mí y en mis habilidades.

Gracias a mi directora, Dra. Gina Mota, que me acompañó a lo largo de todo el proceso, resolviendo dudas, no sólo académicas, sino, existenciales, gracias por todo su apoyo, empatía, compartirme conocimiento, creer en este proyecto y gracias por ser una de las mejores maestras que he tenido. Gracias a mis sinodales, por sus comentarios, perspectivas y ayudarme a mejorar la visión de esta tesis y gracias a la Universidad Autónoma de Querétaro por brindarme todas las herramientas para crear este prototipo, por tener a los mejores profesores siempre dispuestos a apoyar a los alumnos y por ser la mejor alma mater, llena de oportunidades.

Gracias a cada uno de los participantes, que prestaron, no solo su tiempo, sino también su cuerpo para la toma de radiografías y la realización de las incómodas pruebas.

Gracias a mi compañero de proyecto Arguez, quien se aventó miles de diseños y miles de programas para que encajaran con mi visión ideal, gracias por tu compromiso, gracias por tu apoyo y sobre todo gracias por tu amistad.

Gracias Andrés por escucharme siempre, aunque no entendieras de lo que hablaba y siempre estar cuando más te necesitaba.

Gracias a mis queridas “papitas” que siempre creyeron en el proyecto y me echaron porras a lo largo de todo el proceso, aun cuando quería rendirme.

Gracias a mis profesores “externos” Claudia y Jorge, por aconsejarme y darme los mejores tips para escribir, compartirme su conocimiento y hacerme sentir mejor con cada visita.

Gracias a Elena, sin ti la conclusión de este proyecto no hubiera sido posible.

Y gracias infinitas a mi eterna compañera, quien estuvo desde la concepción de esta idea, hasta el último momento, mi querida Moka, gracias por acompañarme en noches de insomnio y relajarme con tu ronroneo. Gracias a todos.

CONTENIDO GENERAL

1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.1.1 ESCOLIOSIS.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.5 PLANTEAMIENTO GENERAL.....	4
2.1 LA POSTURA.....	6
2.2 ANATOMÍA DE LA ESPALDA.....	7
2.2.1 MÚSCULOS PROPIOS DE LA ESPALDA.....	11
2.2.2 BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA.....	13
2.2 ESCOLIOSIS.....	15
2.2.1 CAUSAS, SÍNTOMAS Y COMPLICACIONES.....	16
2.2.2 DIAGNÓSTICO.....	17
2.2.3 ÁNGULOS DE COBB.....	18
2.2.4 CLASIFICACIÓN DE KING Y LENKE.....	20
2.2.5 TRATAMIENTO.....	24
2.2.6 SENSORES DE POSICIÓN.....	25
3 METODOLOGÍA.....	28
3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	28
3.1.1 DIAGNÓSTICO ESCOLIOSIS POSTURAL.....	28
3.1.2 DIAGNÓSTICO ESCOLIOSIS ESTRUCTURADA.....	29
3.2 SELECCIÓN DE MATERIALES.....	30
3.3 DISEÑO DE PROTOTIPO.....	30
3.4 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS Y CONSIDERACIONES.....	31
3.5 SELECCIÓN Y VALORACIÓN DE PARTICIPANTES.....	33
4 PRUEBAS Y RESULTADOS.....	34
4.1 RESULTADOS DE ENCUESTA ONLINE.....	34
4.2 RADIOGRAFÍAS, INTERPRETACIÓN Y ÁNGULOS DE COBB DE LOS PARTICIPANTES.....	43

4.3 RESULTADOS DEL DISPOSITIVO.....	56
4.4 RESULTADOS DE LOS PARTICIPANTES POR PRUEBA.....	61
4.4.1 ESCOLIOSIS POSTURAL.....	61
4.4.2 ESCOLIOSIS ESTRUCTURAL.....	67
5 DISCUSIÓN Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA.....	70
6 CONCLUSIONES.....	75
7 ANEXOS.....	76
ANEXO 1.....	76
ANEXO 2.....	80
ANEXO 3.....	90
ANEXO 4.....	93
8 REFERENCIAS.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama a bloques de la metodología.	4
Figura 2. Árbol que explica las consecuencias de una mala postura.....	7
Figura 3. Partes señaladas de una vértebra (Cuerpo Humano, 2020).....	8
Figura 4 Columna vertebral, se muestran los límites de cada región en la columna. (Laterjet & Ruiz, 2011).	10
Figura 5 del lado izquierdo se muestra la medición normal del ángulo de Cobb, del lado derecho se utilizan dos líneas más para lograr medir el ángulo correctamente cuando no hay intersección de las líneas rectas (El-Feky & Thuaimer 2018).....	19
Figura 6. Medición del ángulo de Cobb, tomando como referencia las vértebras más alejadas de la línea natural de la columna (Álvarez Garcia de Quesada & Núñez Giralda, 2011).	19
Figura 7. Tipos de curvas de acuerdo a la clasificación de King (Ovadia, 2013).	21
Figura 8. dispositivo de inmovilización para el tratamiento de escoliosis. (Mayo Clinic, 2019)	24
Figura 9. Esquema del funcionamiento del acelerómetro capacitivo. (Bouziane, 2009).	26
Figura 10. Modelo simplificado de un giroscopio. (Bao, 2005).	27
Figura 11. colocación de los sensores en participantes.(imagen de espalda tomada de shutterstock.com)	28
Figura 12. sensores colocados en el participante para el diagnóstico de escoliosis postural.....	29
Figura 13. sensores colocados en el participante para el diagnóstico de escoliosis estructurada.	29
Figura 14. Prototipo para escoliosis postural.	30
Figura 15. Prototipo para escoliosis estructural.	31
Figura 16. Radiografía AP dorsal de participante A, pueden observarse las dos curvaturas localizadas en el área dorsal.....	44
Figura 17. Obtención del ángulo de Cobb de las curvaturas del participante.....	45
Figura 19. Obtención del ángulo de cobb de la primera curvatura del participante B.	46
Figura 20. Angulo de Cobb de la segunda curvatura del participante B.	47
Figura 21. Radiografía AP simple área torácica de la columna en participante C.....	48
Figura 22. Ángulo de Cobb en el participante C en la zona torácica	48
Figura 23. Radiografías AP simples dorsales y lumbares del participante D	49
Figura 24. Ángulo de Cobb del área dorsal del participante D	50
Figura 25. Ángulo de Cobb del área lumbosacra del participante D.....	50
Figura 26. Radiografía AP simple del área lumbar de la participante E.....	51
Figura 27. Ángulo de Cobb de la curvatura toraco lumbar de la participante E.....	52
Figura 28. Radiografía AP de área cervical del participante F.	53
Figura 29. Radiografía AP del área dorsal del participante F.	53

Figura 30, Radiografía AP del área lumbar del participante F.....	54
Figura 31. Ángulo de Cobb del área cervical del participante F.....	54
Figura 32. Ángulo de Cobb del área dorsal del participante F.....	55
Figura 33. Ángulo de Cobb del área lumbar del participante F.	55
Figura 34. Colocación de los sensores en participante A.	57
Figura 35. Colocación de prototipo en participante.....	58
Figura 36. Colocación de prototipo en participante.....	60

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1. Músculos de la espalda, ubicación y función (Laterjet, 2011)	11
Tabla 2 Grupos de escoliosis según el grado de curvatura. (Gerendas, 1992).....	20
Tabla 3 Clasificación de Lenke tomada de “Escoliosis idiopática del adolescente: estudio descriptivo, revisión de la literatura y recomendaciones de manejo basadas en evidencia” (Llanos Lucero & Montes González, 2018).....	23
Tabla 4. Promedio de las mediciones realizadas por cada par de sensores:	56
Tabla 5. Promedio de las mediciones realizadas por cada sensor:	57
Tabla 6. Promedio de las mediciones realizadas por cada par de sensores:	57
Tabla 7. Promedio de las mediciones realizadas por cada sensor:	58
Tabla 8. Promedio de las mediciones realizadas por cada sensor:	58
Tabla 9. Promedio de las mediciones realizadas por cada sensor:	59
Tabla 11. Promedio de las mediciones realizadas por cada sensor:	59
Tabla 12. Promedio de las mediciones realizadas por cada sensor:	59
Tabla 13. Tabla resumen de resultados de la prueba 1 en participantes y dispositivo.	70
Tabla 14. Tabla resumen de resultados de la prueba 2 en participantes y dispositivos.....	71
Tabla 15. Relación entre resultados de rx y del dispositivo, mostrando el error por curva.....	71

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. histograma representante de la edad de los encuestados.	34
Gráfica 2. Diagrama de Venn representante del porcentaje de encuestados por sexo.	35
Gráfica 3. Diagrama de Venn representante del porcentaje de encuestados por campus.	35
Gráfica 4. Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿sufres dolor de espalda?	36
Gráfica 5. Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿sufres dolor de espalda?	37
Gráfica 6. Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿Dónde se localiza tu dolor de espalda?	37
Gráfica 7. Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿sufres dolor de espalda?	38
Gráfica 8. Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿Qué tan seguido realizas actividad física?	39
Gráfica 9 Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿Cuánto tiempo pasas sentado?	39
Gráfica 10. Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿Cuánto tiempo pasas de pie?	40
Gráfica 11. Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿Cuántas horas pasas trabajando frente a la computadora?	40
Gráfica 12 Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿Consideras que tienes una buena postura?	41
Gráfica 13. Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿Crees que la contingencia ha modificado tus hábitos posturales?	41
Gráfica 14. Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿Cada cuando visitas a tu fisioterapeuta	42
Grafica 15. Gráfica de caja y bigotes de las medidas adquiridas del participante A, en la prueba de escoliosis postural.	61
Grafica 16. Gráfica de caja y bigotes de las medidas adquiridas del participante B, en la prueba de escoliosis postural.	62
Grafica 17. Gráfica de caja y bigotes de las medidas adquiridas del participante C, en la prueba de escoliosis postural	63
Grafica 18. Gráfica de caja y bigotes de las medidas adquiridas del participante D, en la prueba de escoliosis postural	64
Grafica 19. Gráfica de caja y bigotes de las medidas adquiridas del participante E, en la prueba de escoliosis postural	65

Grafica 19. Gráfica de caja y bigotes de las medidas adquiridas del participante F, en la prueba de escoliosis postural	66
Gráfica 20. Gráfica de caja y bigotes de la prueba de escoliosis estructural en el participante A.	67
Gráfica 21. Gráfica de caja y bigotes de la prueba de escoliosis estructural en el participante B.	68
Gráfica 22. Gráfica de caja y bigotes de la prueba de escoliosis estructural en el participante F.....	68
Gráfica 23. Gráfica que muestra la diferencia entre los resultados arrojados por el Dispositivo (dx) vs Radiografías(rx) en participante A	72
Gráfica 24. Gráfica que muestra la diferencia entre los resultados arrojados por el Dispositivo (dx) vs Radiografías (rx) en participante B.....	73
Gráfica 25. Gráfica que muestra la diferencia entre los resultados arrojados por el Dispositivo (dx) vs Radiografías (rx) en participante B.....	74

RESUMEN

La escoliosis es una condición que se presenta en la mayoría de la población estudiantil de la Universidad Autónoma de Querétaro, esta se divide en postural (aquella que es corregible) y estructurada (no corregible), la postural puede derivar de malos hábitos posturales y puede llegar a estructurarse, mientras que la estructurada se considera idiopática. En esta tesis se propone una herramienta para el diagnóstico de la escoliosis estructural y postural, comparando con el método tradicional de diagnóstico, prueba de Adams y radiografías. Se validan los resultados obtenidos con el dispositivo y se concluye que se requieren más pruebas con más participantes para alcanzar un buen nivel de confianza en los resultados, sin embargo, se asume que como prototipo inicial es una buena base para futuras investigaciones.

SUMMARY

Scoliosis is a condition that occurs in most of the student population of the Autonomous University of Querétaro, it is divided into postural (that which is correctable) and structured (not correctable), postural can derive from bad postural habits and can become structured, while structured is considered idiopathic. In this thesis, a tool for the diagnosis of structural and postural scoliosis is proposed, comparing it with the traditional method of diagnosis, Adams test and radiographs. The results obtained with the device are validated and it is concluded that more tests with more participants are required to reach a good level of confidence in the results, however, it is assumed that as an initial prototype it is a good basis for future research.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 ESCOLIOSIS

Según la Sociedad de investigación de la Escoliosis, la escoliosis se define como una condición de la columna vertebral donde esta presenta curvaturas en forma de “C” o de “S”, la columna escoliótica puede presentar una ligera rotación en algunas vertebrae, lo que provoca que la cintura o los hombros del participante luzcan desiguales. (Scoliosis Research Society, 2020).

La escoliosis puede ser estructural o funcional, la primera se puede considerar como la verdadera escoliosis, ya que además de la desviación lateral de la columna, existe un fenómeno de rotación vertebral. Se trata de curvas que el participante no puede corregir voluntariamente y si lo hace no puede mantener esa posición. (García & Sileo G, 1992).

La escoliosis estructural se divide en idiopática infantil (0-3 años), idiopática juvenil (4-10 años) e idiopática del adolescente (entre los 10 y la etapa de madurez esquelética) (García & Sileo G, 1992). En general, se considera que la escoliosis idiopática es un tipo de escoliosis adquirida, por lo que su causa es desconocida. Este tipo de escoliosis es bastante común y afecta de dos a tres personas de cada 100. Suele desarrollarse entre los 10 y 15 años de edad, durante el crecimiento y formación rápida de los huesos (BUPA, 2019). Los tipos de curvatura más comunes en el caso de escoliosis idiopática es la curvatura torácica derecha seguida por la doble curva, en forma de S que incluye una curva torácica derecha y lumbar izquierda, por último está la curva toracolumbar derecha (Skinner, 2004).

La escoliosis estructural no suele presentar síntomas a menos que la curvatura sea muy grave, por lo que no es un padecimiento doloroso; pero, el cambio en la postura puede generar padecimientos psicológicos preocupantes. Los principales síntomas son asimetrías en la anatomía del participante; un hombro más arriba que el otro, joroba o protuberancia de las costillas; en las mujeres puede parecer que un seno está más alto o más grande que el otro. Las causas de la escoliosis estructural no idiopática son variadas: neuromuscular, congénita, enfermedades del tejido mesenquimal, traumáticas, contracturas de tejidos blandos, infecciones del hueso, tumores, artritis reumatoide o enfermedades metabólicas (Gerendas, 1992). Además, en el caso de escoliosis postural esta se deriva de malos hábitos posturales, obesidad, cargas desiguales y longitud desigual de las extremidades inferiores (Zurita Ortega et al., 2014).

Por otra parte, la escoliosis funcional o secundaria es una repercusión en la columna derivada de otro defecto o condición del participante, es decir una pierna más larga que la otra, pie plano, espasmos musculares post-traumáticos, malos hábitos posturales, por mencionar algunas causas (Terapia Física, 2017). No hay cambios intrínsecos en la columna o en las estructuras de soporte. El participante puede corregir la curvatura inclinándose lateralmente al lado convexo. Esta condición puede evolucionar en una escoliosis estructurada si no se corrige a tiempo (Gerendas, 1992).

Para el diagnóstico de la escoliosis existen diversas herramientas fisioterapéuticas, una de ellas es el escoliómetro, que es un instrumento de fácil manejo que permite medir la curvatura de la espalda, mediante la prueba de Adams. Sin embargo, éste solo llega a medir de 25° a 30° ya que su diseño no permite medir curvaturas de mayor grado (Maude,2019).

Así mismo existen diversas aplicaciones móviles para el diagnóstico “casero” de la escoliosis, sin embargo, no son muy recomendadas por los especialistas (Maude,2019), también, múltiples investigadores han desarrollado programas para el procesamiento de imágenes radiológicas, o fotografías de los participantes que ayuden al diagnóstico de esta condición (Machado,2017)

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una herramienta que sirva de apoyo para el diagnóstico de escoliosis.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar una herramienta para el diagnóstico de la escoliosis capaz de medir curvaturas mayores a 10°.
- Brindar un prototipo de herramienta de diagnóstico para los especialistas en fisioterapia y ortopedia.
- Realizar un análisis estadístico para validar la precisión del método.
- Encontrar la correlación entre el método tradicional y el propuesto.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La escoliosis es una condición de la columna vertebral donde se presentan curvas anormales, es decir, mayores a 10°, esta condición puede ocasionar dolor, problemas psicológicos, problemas respiratorios, artritis y problemas cardíacos (Mayo Clinic, 2019).

Los malos hábitos posturales se presentan en el 100% de los alumnos de la UAQ (El Universal de Querétaro, 2014). Si estos no se corrigen a tiempo pueden derivar en una escoliosis postural, que al no ser diagnosticada adecuadamente y a tiempo puede resultar en una escoliosis estructurada.

Es necesario diseñar una herramienta que apoye al diagnóstico de la escoliosis de una manera precisa, de mayor rango que el escoliómetro tradicional que permita la detección de curvas mayores a los 10°.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Según el Boletín de la UNAM, el 50% de la población general tendrá dolores de cuello o espalda debido a los malos hábitos posturales al trabajar, sentarse o usar dispositivos electrónicos. La fisioterapeuta Adriana Echeverría asegura en el artículo que la mayoría de la gente no reconoce estas alteraciones en la postura hasta que presentan un problema, (UNAM, 2018)

Por otro lado, un diagnóstico adecuado depende en gran medida de la experiencia del fisioterapeuta, ya que no existe una herramienta confiable y de fácil uso para el diagnóstico, los que existen tienen limitaciones importantes, como el que sólo permite medir hasta 30° de curvatura; por lo que muchas veces el especialista utiliza radiografías como apoyo para el diagnóstico. Lo que incrementa los costos y no siempre es accesible para los participantes, sobre todo si hablamos de la comunidad estudiantil.

Por lo tanto, se considera importante el desarrollo de un sistema confiable, fácil de usar por los fisioterapeutas y de bajo costo para el diagnóstico correcto y oportuno de la escoliosis postural, que pueda permitir una posible estructuración de la condición y evitar problemas futuros, como dolor, problemas respiratorios o cardíacos (Mayo Clinic, 2019).

Actualmente no existe una herramienta de fácil uso para los fisioterapeutas que sea completamente confiable, el uso de Rayos X sigue siendo el recurso más utilizado, sin embargo, estos no son de fácil acceso para toda la comunidad universitaria.

1.5 PLANTEAMIENTO GENERAL

En el siguiente diagrama se explica la metodología que cuenta de 6 pasos.

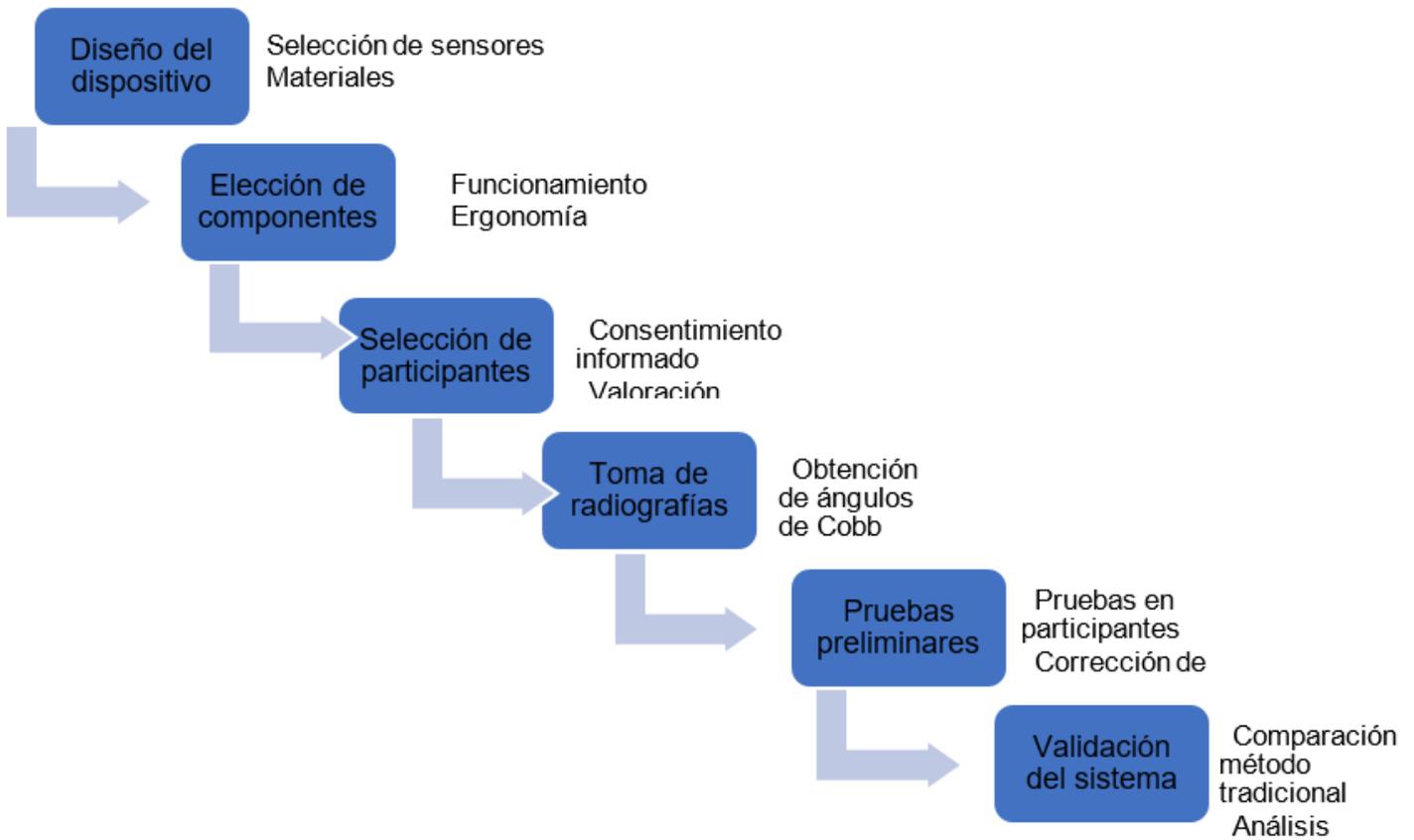


Figura 1. Diagrama a bloques de la metodología.

1. Elección de componentes

Basándose en la literatura y mediante diferentes pruebas se elegirán los sensores de posición a utilizar, ya sea acelerómetro, magnetómetro o giroscopio. Además, se elegirá la plataforma apropiada para el procesamiento de los datos obtenidos de cada participante.

2. Diseño del dispositivo

Se decidirá el número definitivo de sensores a utilizar, así como el material para la parte externa del dispositivo, tomando en cuenta el correcto funcionamiento de los sensores, así como la comodidad y seguridad del participante.

3. Selección de participantes

Se elegirán a aquellas personas que acepten participar en el estudio, mediante el consentimiento informado se les explicará el proceso y se contestarán todas sus posibles preguntas acerca de la investigación. Los participantes deberán cumplir con ciertos requisitos para poder ser parte de la investigación, se tomará en cuenta su sexo, edad, peso y grado de escoliosis, serán valorados por un especialista que confirmará si pueden ser partícipes del proyecto.

4. Toma de radiografías

Después de la valoración se les realizará una radiografía para poder obtener información detallada de su condición, el especialista obtendrá el ángulo de Cobb que será utilizado para la validación del dispositivo propuesto.

5. Pruebas preliminares

Nuevamente se les hará la valoración a los participantes, esta vez utilizando el prototipo, se les preguntará si les causa alguna incomodidad y se corregirán posibles errores no previstos en la teoría del diseño.

6. Validación del sistema

Se compararán los resultados obtenidos con el prototipo con los ángulos de Cobb obtenidos por el especialista, mediante un análisis estadístico se obtendrá la exactitud y precisión del prototipo y se concluirá si representa una mejoría en el diagnóstico adecuado de la escoliosis.

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 LA POSTURA

La postura corporal es natural en el ser humano, se define como la conjunción de todas las articulaciones del cuerpo humano en todo momento (Agudelo Martínez, 2013). La postura acompaña al hombre desde el reposo, el trabajo, actividad física y afecta de manera directa la salud del individuo, tomar una postura inadecuadas en las actividades del ámbito escolar como pasar mucho tiempo de pie o sentado, cargar peso excesivo en mochilas o trabajar frente a la computadora llegan a causar molestias, dolor e incluso limitaciones en el trabajo corpóreo (Mendoza Garfias, 2018).

La postura considerada como ideal es cuando el individuo no exagera o incrementa las curvas naturales de la columna, también cuando hay una relación con los músculos de la espalda que permiten un adecuado funcionamiento de las extremidades inferiores y superiores (Agudelo Martínez, 2013).

De acuerdo con Vidal Oltra, se describen tres posturas básicas; bipedestación, sedestación (que puede ser anterior, intermedia y posterior), y por último la postura decúbito (que se puede presentar en supino, prono y lateral). (2018)

La bipedestación es una postura estática, que mantenida puede producir el estancamiento circulatorio en extremidades inferiores, rigidez en los músculos erectores del tronco, que permiten el equilibrio, y la mengua en la precisión en trabajos específicos (Vidal Oltra, 2018).

En la sedestación se produce un gasto energético, demanda circulatoria y función muscular mucho menor que en la posición anterior, en esta postura el peso del tronco se traslada a la parte baja de la espalda y por esta a las extremidades inferiores. (Vidal Oltra, 2018).

La última postura descrita por Vidal Oltra es la postura de decúbito que se refiere a que el individuo se encuentra acostado, o yace en alguna superficie, esta postura se ve afectada por dormir boca abajo, dormir en colchones muy blandos, sentarse en con las rodillas dobladas en la cama, etc. Es importante resaltar que la postura incorrecta puede producir disfunciones o malestares que llegan a causar alteraciones estructurales. (2018).

La postura correcta requiere de un rango de movimientos articulares complejos y de fuerza muscular equilibrada con un adecuado nivel de elasticidad. Una actividad física deficiente puede

dar paso a factores de riesgo que no solamente afectan la alineación corporal, sino que también afectan la salud y correcto funcionamiento del ser humano (Daza Lesmes, 2007).

La mala higiene postural en el trabajo, escuela o actividades de ocio es la causante de modificadores no violentos, pero si constantes que pueden modificar la complejión de la columna vertebral y desencadenar efectos adversos en la salud del individuo. (Agudelo Martínez, 2013).

Una mala postura genera una serie de problemas en los individuos tal y como se muestran en el siguiente árbol de problema propuesto por Mendoza Garfias (2018)

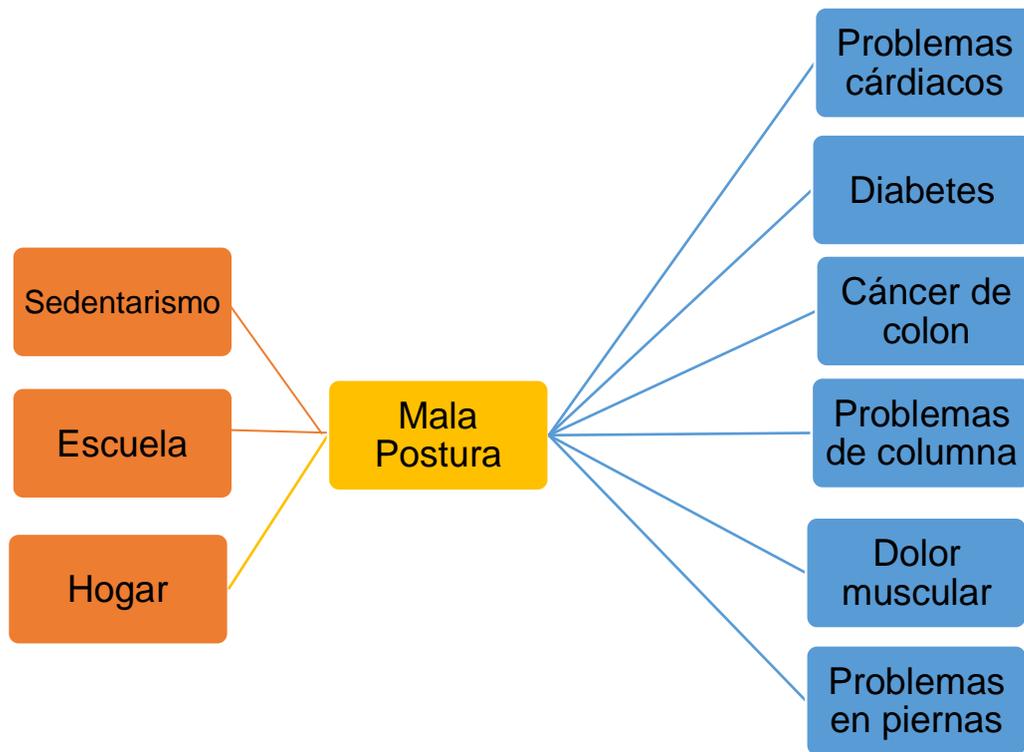


Figura 2. Árbol que explica las consecuencias de una mala postura.

2.2 ANATOMÍA DE LA ESPALDA

2.2.1 LA COLUMNA VERTEBRAL

La columna vertebral es un largo tallo óseo longitudinal, es flexible y resistente, se encuentra situada en la parte media y posterior del tronco. Sostiene la cabeza y se extiende desde esta hasta la pelvis, que la soporta. Se encarga de proteger y envolver la médula espinal (Rouvière, 2005).

La columna está compuesta por 32-34 vértebras divididas en; 7 cervicales, 12 torácicas, también llamadas dorsales, 5 lumbares, 5 sacras, y de 3 a 5 coccígeas, estas últimas se fusionan con las vértebras sacras para formar el sacro y el cóccix (Saldaña Ambulódegui, s/f).

Existen elementos presentes en todas las vertebres, exceptuando las cervicales 1 y 2, que poseen características especiales. De acuerdo a Saldaña Ambulódegui las características compartidas son las siguientes(s.f.):

- Cuerpo vertebral: el elemento más grueso y anterior de forma cilíndrica.
- Arco vertebral: se extiende hacia ambos lados a partir del cuerpo vertebral.
- Agujero vertebral: se refiere al espacio entre el cuerpo y el arco.
- Pedículos: elementos que unen al arco con el cuerpo, cada vertebra posee uno a cada lado.
- Láminas: continuación de los pedículos, forman la parte posterior del agujero vertebral.
- Apófisis espinosa: formada por la unión de dos laminas en la cara posterior del arco.
- Apófisis transversa: sale hacia los lados entre las láminas y los pedículos.
- Apófisis articulares: son cuatro, compuestas por dos superiores y dos inferiores que se articulan con otras apófisis articulares de las otras vertebres.
- Agujero de conjunción: se encuentra entre los pedículos al articularse las vértebras.
- Disco intervertebral: ubicado entre las vértebras articuladas, su función es la amortiguación de la columna.

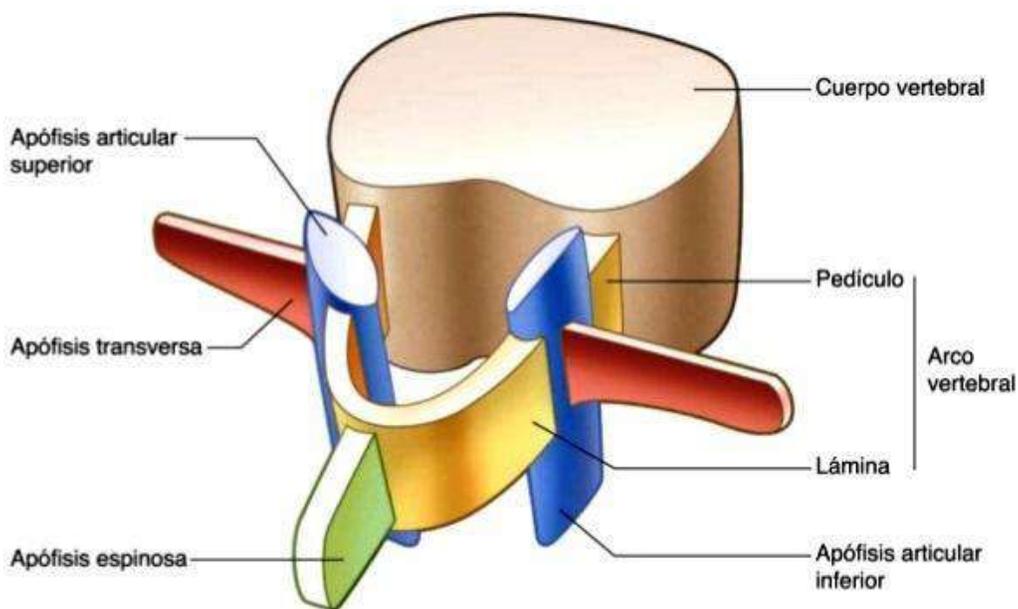


Figura 3. Partes señaladas de una vértebra (Cuerpo Humano, 2020).

La columna vertebral varía de longitud dependiendo de la talla del individuo, sin embargo, el promedio es de 73 a 75 centímetros en los hombres y de 60 a 65 centímetros en las mujeres, con el tiempo esta longitud disminuye debido al aplastamiento de los discos intervertebrales que propician la concavidad antero posterior, es decir la cifosis (Latarjet & Ruiz, 2011).

La columna vertebral presenta curvaturas naturalmente, son cuatro, la cervical que es la primera, es convexa hacia adelante, continua la torácica, que es convexa hacia atrás, le sigue la lumbar que es la tercera, convexa hacia adelante y la cuarta y última que es la sacra, esta es convexa hacia atrás, esta es la única curva fija, ya que las otras se modifican con los movimientos de flexión o extensión. Las curvas anteroposteriores demuestran la adaptación del humano a la posición de pie, estas curvas no se presentan en los cuadrúpedos y en los antropoides las curvaturas son casi nulas en las cervicales y lumbares. (Laterjet & Ruiz, 2011).

En las mujeres la curvatura lumbar está más pronunciada que en el hombre, ya que está posee una función reproductiva, esta característica ha proseguido de manera editaría y se presenta netamente en la pubertad y adquiere su desarrollo total en la edad de madurez reproductiva. (Laterjet & Ruiz, 2011).

Laterjet y Ruiz explican que, en los humanos, los músculos cervicales dan a la cabeza la posición necesaria para poder mover la cabeza y explorar sus alrededores, mientras que la curvatura lumbar es una prueba de que sólo los miembros inferiores participan en la locomoción, sin embargo, es de notarse que los músculos se insertan en las apófisis espinosas lumbares y en las transversas, lo que da un soporte extra que es necesario para la posición de pie. (2011).

También es importante notar la influencia, altamente evidente, de las diferentes profesiones en la posición de los humanos; se opone el raquis cóncavo hacia delante de los agricultores o de los estudiante y trabajadores sedentarios a la columna derecha y curvada del soldado, es así, posible notar la diferencia entre un individuo que mantiene su fuerza muscular y elasticidad articular del que no lo hace, por ejemplo; se observa en el individuo talla curvada, ensanchamiento de los hombros hacia atrás y la pared abdominal es paralela a la columna vertebral, por el contrario, el que lleva una vida sedentaria tiene el torso abovedado, los omoplatos están alados, tórax estrecho, los hombros se encuentran proyectados hacia adelante y la pared abdominal es prominente (Latarjet & Ruiz, 2011).

Las curvaturas laterales de la columna son normalmente imperceptibles en el individuo sano, exceptuando de la curvatura torácica cóncava hacia la izquierda, formada por el predominio funcional del lado derecho en las personas diestras. Pueden ser evidentes algunas alteraciones vertebrales, conocidas como hemivértebra, producidas por la destrucción parcial de los cuerpos vertebrales, o bien por una debilidad en los músculos, ya sea causada por parálisis o bien por falta de uso. El acortamiento de un miembro o la inflamación de los tejidos que recubren los pulmones y la cavidad torácica pueden aumentar las curvaturas laterales, provocando una escoliosis, que provoca las deformaciones de la columna vertebral suprayacentes y subyacentes así como las deformaciones torácicas. (Laterjet & Ruiz, 2011).



Figura 4 Columna vertebral, se muestran los límites de cada región en la columna. (Laterjet & Ruiz, 2011).

2.1.2 MÚSCULOS PROPIOS DE LA ESPALDA

La espalda está compuesta por los grupos musculares llamados extensores del tronco cuyo propósito es conservar la postura derecha del individuo (Pearl, 2002). Los músculos posteriores participan en la extensión, la rotación e inclinación lateral del raquis es gracias a los músculos laterales. (Laterjet & Ruiz, 2011)

En seguida se enlistan los músculos propios de la espalda de acuerdo a Laterjet (2011) y Alonso Sánchez et al. (2017).

Tabla 1. Músculos de la espalda, ubicación y función (Laterjet, 2011)

Músculo	Ubicación	Función
Músculo erector de la columna	Se presenta abajo, sobre la región lumbosacra.	Mantener a la columna erecta.
Músculo iliocostal (sacrolumbar)	Proviene del músculo erector de la columna, se diferencia a la altura de las vértebras T12-L1	Unilateralmente se encarga de la inclinación y rotación hacia un lado. Bilateralmente se encarga de la extensión del raquis.
Músculo longísimo torácico (dorsal largo)	Proviene de la parte media y superficial del músculo erector de la columna, se inserta en las apófisis lumbares y en la cresta sacra, se extiende hacia la parte de arriba de la columna.	Produce la rotación de la cabeza.
Músculo espinoso torácico (epiespinoso)	Sale del musculo dorsal largo, se inserta en las apófisis espinosas de las primeras lumbares y las últimas torácicas	Flexiona la cabeza y el cuello al mismo lado.
Músculo semiespinoso torácico	Se origina en las últimas seis vertebras torácicas y termina en las dos últimas cervicales	Enderezar y estabilizar la columna.

Músculo	Ubicación	Función
	y las cuatro primeras torácicas.	
Músculo semiespinoso del cuello	Proviene de las primeras vertebrae torácicas hasta las primeras cervicales.	Evitar la caída del cráneo y promover la extensión de este sobre el cuello.
Laminar corto Laminar largo Espinoso corto Espinoso largo	Parte de los músculos multifidos y rotadores, se inserta en una apófisis transversa hasta las apófisis espinosas de las cinco vertebrae subyacentes	Estabiliza los movimientos de cada vertebra y apoya en la rotación de estas.
Músculos interespinosos	En pares en cada lado, uno a la derecha y otro a la izquierda se desarrollan en las áreas cervicales y lumbares.	Extensores de la columna vertebral.
Músculos intertransversos	Se presentan en las apófisis transversas en los espacios intertransversos de la columna. Se presentan dos, uno de cada lado.	Unilateralmente inclinación hacia un lado, bilateralmente tienen la función de extensión e hiperextensión.
Músculo serrato posterior superior	Se incrusta en las apófisis de la séptima vértebra cervical hasta las tres primeras torácicas.	Ayuda a la inspiración.
Músculo serrato posterior inferior	Se origina en las dos últimas vertebrae torácicas y en las tres primeras lumbares.	Participa en la expiración.
Músculo cuadrado lumbar	Se presenta entre la doceava costilla, las apófisis costales lumbares hasta la cresta iliaca.	Inclina hacia un lado la columna vertebral, eleva la pelvis.

Músculo	Ubicación	Función
Romboides	Se extiende desde la escapula hasta la columna vertebral.	Movimiento de la escapula y la fija a la pared torácica.
Trapezio	Abarca desde el cráneo hasta el centro de la columna.	Afianza la escapula, contribuye a los movimientos del brazo y es extensor de la cabeza.

El autor señala que al hablar de la musculatura de la espalda es importante tomar en cuenta otros músculos que estabilizan la pelvis ya que tienen intervienen en esos músculos que estabilizan la región lumbar, y por lo tanto en la posición general de la espalda, por ejemplo; los glúteos, isquiotibiales, recto del abdomen, oblicuo del abdomen, y el transversal abdominal (Sánchez et al., 2017).

2.1.3 BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA

Según Miralles la biomecánica estudia cómo afectan las fuerzas externas e internas en el cuerpo humano, a diferencia de la anatomía que muestra en inmovilidad y, en un momento específico, las estructuras del cuerpo (Miralles, 2006).

El raquis debe soportar presiones y al mismo tiempo ser elástica por lo que posee un gran rango de movilidad (Miralles Marrero, 2006). La biomecánica de la columna considera las estructuras básicas, constituidas por vértebras, cartílagos, ligamentos y músculos y las fuerzas causadas por el cuerpo y aquellas producidas por el entorno externo al cuerpo, recordando que las fuerzas internas se presentan a consecuencia de las externas ya que su función es estabilizar la columna. (Sánchez et al., 2017).

Las vértebras y los ligamentos se conocen como estructuras pasivas y garantizan la estabilidad estática de la columna, y la estabilidad dinámica está dada por los músculos que coordinan el movimiento y la postura y tratan de que las fuerzas que reciben los componentes pasivos sean mínimas. (Sánchez et al., 2017).

Estos elementos se ven afectados de forma diferente dependiendo de la fuerza que actúe sobre ellos, puede ser por una acción normal o fisiológica en la cual las deformaciones pueden ser recuperables, una acción de sobrecarga que provoca deformaciones permanentes y por último por

una acción de ruptura donde la carga es mucho mayor que la resistencia de la columna lo que provoca una fractura. (Sánchez et al.,2017).

La estabilidad de la espina depende de varios factores, pero principalmente depende de la relación entre la línea vertical de la gravedad y los segmentos de la espalda. Cuando el peso está en equilibrio la fuerza que tienen que hacer los músculos es mínima, a diferencia de cuando el peso no está balanceado lo que provoca fatiga y deformidades estructurales. Un ejemplo de esto es cuando un individuo tiene una pierna más larga que la otra, lo que produce que el individuo haga una compensación y se produzca una escoliosis. Como los músculos del lado cóncavo se fatigan, los elementos de la columna se inclinan hacia el lado convexo afectando a la estabilidad de la columna (Schafer, 1987).

La existencia de las curvas naturales de la columna permite que la columna sea más estable y resistente a diferencia de una columna completamente recta, pero además la estabilidad es dada por los músculos propios de la espalda, pero además por la “cámara hidroaérea” que está formada por el tórax y el abdomen. La tensión de los músculos abdominales comprime la cámara hidroaérea y convierte la columna en una estructura más rígida. La calidad del tono muscular abdominal puede marcar la resistencia de la columna. (Miralles, 2006).

La movilidad de la columna es el conjunto de los movimientos de cada sección vertebral. El nivel que soporta mayor peso es el lumbosacro, por lo que es el que comúnmente presenta dolor o malestar. (Sánchez et al., 2017). Es responsabilidad de la región lumbar de ajustarse a los cambios de carga desde el centro de gravedad, es decir que esta zona debe aumentar su curvatura para evitar que el cuerpo caiga hacia adelante, este efecto es claramente observado en los últimos meses de embarazo donde la región lumbar debe ajustarse para compensar el aumento de masa corporal anterior. En sentido contrario, si el centro de gravedad se mueve hacia la parte posterior la curvatura lumbar se aplanará. (Schafer, 1987).

En sentido general la morfología y movilidad de la columna en su biomecánica presenta puntos importantes de acuerdo con Sánchez et al. (2017), como los siguientes;

- En la bipedestación los discos intervertebrales mantienen una posición oblicua respecto al suelo, exceptuando C3-C4, D6-D7 y L3-L4.
- Las apófisis articulares de las vértebras se sitúan según la región, evitando que la zona lumbar rote y favoreciendo la rotación en la zona dorsal.

- La zona dorsal es menos flexible que la cervical y lumbar en movimientos de flexión y/o extensión.
- La zona dorsal es más flexible de lado.

2.2 ESCOLIOSIS

La escoliosis se refiere a una curva en la columna mayor a los 10 grados, normalmente se presenta hacia a la derecha, una curvatura de menos de 10 grados es considerada como una variación anatómica normal. (Gerendas, 1992)

La escoliosis puede ser estructural o funcional. La primera se puede considerar como la verdadera escoliosis, ya que además de la desviación lateral de la columna, existe un fenómeno de rotación vertebral. Se trata de curvas que el participante no puede corregir voluntariamente y si lo hace no puede mantener esa posición. La escoliosis estructural se divide en idiopática infantil (0-3 años), idiopática juvenil (4-10 años) e idiopática del adolescente (entre los 10 y la etapa de madurez esquelética) (García & Sileo G, 1992).

La escoliosis se puede, además clasificar por su etiología, ya sea no estructural o funcional; la escoliosis postural es aquella que se deriva de malos hábitos posturales, la escoliosis compensadora se debe a que, como su nombre lo dice, a una compensación del individuo al poseer extremidades inferiores desiguales. La escoliosis ciática se debe a la presión de un disco herniado sobre las raíces nerviosas. La escoliosis inflamatoria aparece normalmente en presencia de una infección o un absceso perianal. Y por último la escoliosis idiopática, de la cual no se tiene una causa definida (Ubillus-Carrasco & Sánchez-Vélez, 2018).

En general, se considera que la escoliosis idiopática es un tipo de escoliosis adquirida, por lo que su causa es desconocida. Este tipo de escoliosis es bastante común y afecta de dos a tres personas de cada 100. Suele desarrollarse entre los 10 y 15 años de edad, durante el crecimiento y formación rápida de los huesos (BUPA, 2019). Los tipos de curvatura más comunes en el caso de escoliosis idiopática es la curvatura torácica derecha seguida por la doble curva, en forma de S que incluye una curva torácica derecha y lumbar izquierda, por ultimo está la curva toracolumbar derecha (Skinner, 2004).

La escoliosis estructural no suele presentar síntomas a menos que la curvatura sea muy grave, por lo que no es un padecimiento doloroso; pero, el cambio en la postura puede generar padecimientos psicológicos preocupantes. (Gerendas, 1992).

2.2.1 CAUSAS, SÍNTOMAS Y COMPLICACIONES

Los principales síntomas son asimetrías en la anatomía del participante; un hombro más arriba que el otro, joroba o protuberancia de las costillas; en las mujeres puede parecer que un seno está más alto o más grande que el otro. (Gerendas, 1992). Según Ubillus y Sánchez el síntoma principal es el dolor axial, déficit neurológico y dolor radicular. (2018)

Las causas de la escoliosis estructural no idiopática son variadas: neuromuscular, congénita, enfermedades del tejido mesenquimal, traumáticas, contracturas de tejidos blandos, infecciones del hueso, tumores, artritis reumatoide o enfermedades metabólicas (Gerendas, 1992). Además, en el caso de escoliosis postural esta se deriva de malos hábitos posturales, obesidad, cargas y longitud desiguales de las extremidades inferiores (Zurita Ortega et al., 2014).

En el caso de la escoliosis idiopática se han valorado diferentes causas como alteraciones en el crecimiento, en el sistema nervioso central, alteraciones en los discos, anomalías en el tejido conectivo o anomalías musculares, sin embargo, ninguna ha podido ser confirmada. En los últimos años la teoría genética ha tomado fuerza debido a que los trabajos de investigación de Ogilvie han encontrado 200 marcadores genéticos, cuya presencia afecta en la gravedad y posibilidad de progresión de las curvas de la espalda (Álvarez Garcia de Quesada & Núñez Giralda, 2011).

Por otra parte, la escoliosis funcional o secundaria es una repercusión en la columna derivada de otro defecto o condición del participante, es decir una pierna más larga que la otra, pie plano, espasmos musculares post-traumáticos, malos hábitos posturales, por mencionar algunas causas (Terapia física, 2017). No hay cambios intrínsecos en la columna o en las estructuras de soporte. El participante puede corregir la curvatura inclinándose lateralmente al lado convexo. Esta condición puede evolucionar en una escoliosis estructurada si no se corrige a tiempo (Gerendas, 1992).

Debido a la escoliosis algunos individuos pueden desarrollar otras complicaciones, como dolor, estos participantes requieren una valoración adicional para establecer la causa correcta (Tejeda Barreras, 2011). El dolor puede convertirse en crónico, especialmente en la edad adulta, además de posible daño cardíaco y pulmonar, ya que la alteración a nivel torácico puede dificultar la respiración y el bombeo de sangre por el corazón (MAYO CLINIC, 2019).

Debido a la progresión de las deformaciones de la columna el participante puede desarrollar dolor muscular, movilidad limitada y tener su calidad de vida comprometida. Además, la salud mental del individuo se ve comprometida, ya que al presentar una deformidad notable la autoestima del

participante tiende a ser baja, así como su capacidad para relacionarse con otros individuos. El número de estudios acerca de la evaluación de la calidad de vida ha ido creciendo en los últimos años debido a la inquietud por la percepción del participante de su propia condición. Esto es realmente importante al elegir el tratamiento para que el individuo pueda seguirlo sin complicaciones o excusas (Galvínico Montenegro et al., 2020).

2.2.2 DIAGNÓSTICO

Normalmente la escoliosis es fácilmente detectada por el especialista ya que una de las principales características es la desigualdad en hombros y escapulas, el médico realiza un examen físico completo, donde puede determinar debilidad muscular, entumecimiento o reflejos anormales (Mayo Clinic, 2019).

Cuando el participante acude a fisioterapia suele ser por recomendación del médico familiar, o por presentar molestias en la espalda. La fisioterapia es recomendada en casos de escoliosis estructurada y postural como medida de prevención y rehabilitación. (Ubilus & Sánchez, 2018).

El objetivo principal de la fisioterapia en casos de escoliosis es identificar los casos con necesidad de un tratamiento precoz, haciendo el diagnóstico con la menor exposición a rayos X, ya que, en casos de escoliosis, lo más fácil es hacer una radiografía completa de columna para su diagnóstico, sin embargo, esto no es recomendable hacerlo de manera rutinaria (Álvarez Garcia de Quesada & Núñez Giralda, 2011).

La exploración de cribado más aceptable, conocida y sencilla es el test de Adams (Álvarez Garcia de Quesada & Núñez Giralda, 2011). En este test el participante se inclina hacia adelante, manteniendo los pies juntos, las rodillas sin flexionar y los brazos extendidos mientras mantiene las palmas de las manos unidas. El especialista realiza la observación desde atrás buscando indicadores de escoliosis, como el desnivel en los hombros, asimetría en la columna y a nivel escapular y en las caderas, falta de alineación entre la cabeza y la pelvis, o un costado más prominente que el otro. Un test de Adams positivo quiere decir que el participante presenta una rotación en el tronco y una posible escoliosis (Robles Ortiz et al., 2016).

Clásicamente la prueba de Adams positiva daba pie al estudio radiográfico, pero hoy en día los especialistas buscan ajustar más las indicaciones, por lo que, después de la prueba de Adams se emplea un escoliómetro de Bunnell o inclinómetro que indica la inclinación del tronco en grados. Si el participante es positivo en Adams, pero la inclinación es menor a los 5° los especialistas

pueden afirmar que no hay escoliosis o al menos no una significativa, si el participante presenta una inclinación entre los 5° y los 9° deberá hacerse la evaluación nuevamente en seis meses para evaluar la rotación del tronco. Finalmente, si el participante presenta una inclinación mayor a los 10° este debe ser remitido a un estudio radiográfico (Álvarez Garcia de Quesada & Núñez Giralda, 2011).

Existen también aplicaciones para celulares, que haciendo uso del acelerómetro con los que cuentan estos dispositivos, miden la curvatura de la espalda; sin embargo, para el ámbito profesional estas aplicaciones no se recomiendan ya que el teléfono no cuenta con el diseño apropiado para una medición adecuada (Mauede, 2019).

En 2017, Yuliet Machado desarrollo una aplicación de computadora para el diagnóstico no invasivo de la escoliosis, el método consiste en tomar una foto del participante y calcular por medio del software las características observadas tradicionalmente por los fisioterapeutas, el programa requiere de una continua calibración para tener valores adecuados. El software solamente toma en cuenta las pruebas cualitativas, como es la prueba de ADAMS, de la cual obtiene un valor cuantitativo aproximado, además de aproximar la curvatura de la espalda solamente analizando la foto del participante. Este software a pesar de ser una herramienta de gran ayuda para los especialistas en el diagnóstico de la escoliosis no presenta el valor de los ángulos de Cobb (Gómez Machado, 2017).

2.2.3 ÁNGULOS DE COBB

La magnitud de la curva en la columna se mide con el ángulo de Cobb, que se define como el ángulo que se forma entre las vértebras más inclinadas o fuera de su lugar (Álvarez Garcia de Quesada & Núñez Giralda, 2011). El método de Cobb es el método estándar y el tratamiento para la escoliosis se basa en el grado del ángulo y/o la progresión de la curva (Shea et al., 1998).

El ángulo de Cobb es sencillo de obtener sin embargo puede tener un error que depende del observador y realizador de los cálculos. Su factor limitante es que no ejemplifica adecuadamente la deformidad ya que hay poca correlación entre el grado de curvatura y la desviación lateral (Goldberg et al., 2001). Incluso con la estandarización de este método existen discrepancias entre los valores de los realizadores de las pruebas, estos pueden variar de 2° a 4.9° dependiendo de quien la realice. Estos problemas de medición se atribuyen al constante cambio de herramientas utilizadas al momento de la evaluación. Otra posible causa de las variaciones es la posición del participante al momento de la obtención de la radiografía (Sperandio et al., 2011).

Para obtener el ángulo de Cobb, el fisioterapeuta debe decidir en que vertebra comienza la deformidad de la columna y en cual termina, se dibujan líneas hacia el centro, en la intersección de estas se forma un ángulo que será el grado de curvatura. En caso de que las líneas no se intercepten entre sí, dos líneas pueden realizarse en ángulos de 90° para lograr calcular el ángulo correctamente, como se muestra en la siguiente figura (El-Feky & Thuaimer, 2018).

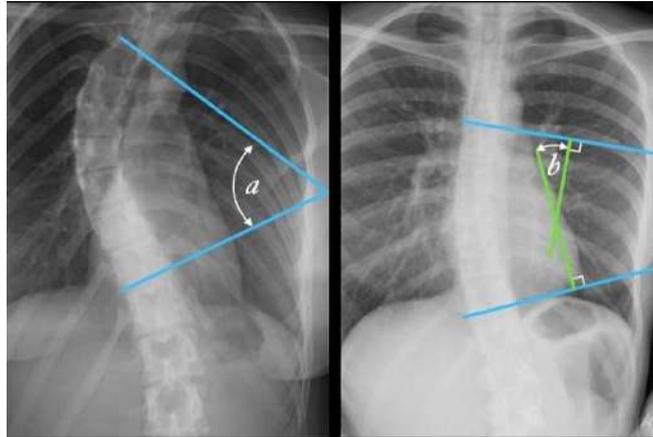


Figura 5 del lado izquierdo se muestra la medición normal del ángulo de Cobb, del lado derecho se utilizan dos líneas más para lograr medir el ángulo correctamente cuando no hay intersección de las líneas rectas (El-Feky & Thuaimer 2018).

El tipo de curva se clasifica acorde a lo localización de la vértebra más alejada de la línea natural de la columna y pueden ser curvas torácicas, lumbares o toracolumbares, incluso se pueden presentar curvas dobles (Álvarez Garcia de Quesada & Núñez Giralda, 2011).

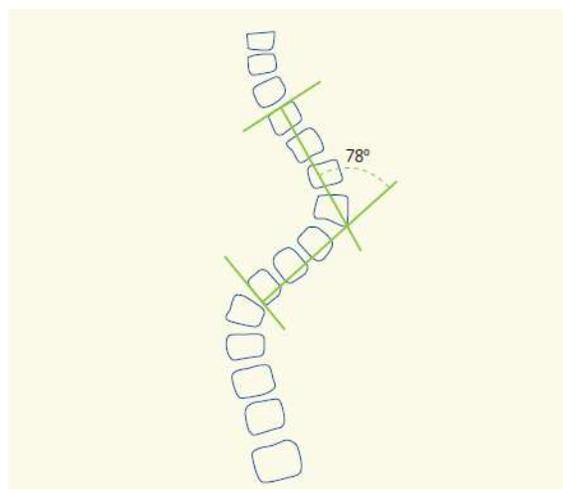


Figura 6. Medición del ángulo de Cobb, tomando como referencia las vértebras más alejadas de la línea natural de la columna (Álvarez Garcia de Quesada & Núñez Giralda, 2011).

De acuerdo con Gerendas, existen siete grupos en los que puede caer la curva de acuerdo a los grados de esta. (1992).

Tabla 2 Grupos de escoliosis según el grado de curvatura. (Gerendas, 1992).

GRUPO I	10°-20°
GRUPO II	21°-30°
GRUPO III	31°-50°
GRUPO IV	51°-75°
GRUPO V	76°-100°
GRUPO VI	101°-125°
GRUPO VII	126° o más

El grupo I normalmente sólo requiere un control, mientras que a partir de los 55° empieza a haber un riesgo respiratorio. Algunas curvas progresan lentamente de 1 a 2 grados por año, a veces permanecen estables y otras pueden progresar rápidamente, de 10 grados o más por año (El-Feky & Thuaimer, 2018).

A pesar de ser el método más utilizado, este tiene varias limitaciones, ya que, dependiendo del especialista puede haber variaciones entre las mediciones realizadas de entre 5°-10°. Además, estas mediciones se tienen que realizar en cada una de las deformidades que se presenten en la columna. (El-Feky & Thuaimer, 2018).

2.2.4 CLASIFICACIÓN DE KING Y LENKE

Existen tres clasificaciones importantes para las curvaturas provocadas por la escoliosis, estas son; los ángulos de Cobb propuesta por John Cobb en 1948, explicada anteriormente, la clasificación de King, propuesta por Howard King en 1983 y la más reciente propuesta por Lawrence Lenke en 2001. (Ovadia, 2012). Estas clasificaciones se utilizan para proporcionar una valoración objetiva y permitir que el diagnóstico sea lo más uniforme posible y comparable con otros métodos (Tejeda Barreras, 2011).

La clasificación de King se basa en la experiencia y notas de John Moe en el tratamiento de la escoliosis idiopática en adolescentes, esta clasificación divide las curvas en cinco categorías y se presenta guías y recomendaciones para cada una de los tipos de curva en orden de preservar la mayor movilidad posible, King también definió por primera vez importantes conceptos que se usan

hasta ahora, como: (1) vértebra estable; que es la vértebra más cercana a la línea sacra central. (2) Curva estructurada versus Curva compensadora; las curvas son definidas de acuerdo a su flexibilidad lateral (Ovadia, 2013).

Tejeda resume la clasificación de King de a siguiente manera (2011):

- **Tipo I:** Curva en forma de ‘S’ que cruza la línea media de las curvas torácica y lumbar. En el estudio radiográfico dinámico esta curva es negativa.
- **Tipo II:** Curva en forma de ‘S’ donde tanto como la curvatura torácica mayor y la curvatura lumbar menor cruzan la línea media.
- **Tipo III:** Curva torácica donde la curva lumbar no cruza la línea media.
- **Tipo IV:** Curva torácica en forma de ‘C’ larga en la que la quinta vértebra lumbar está centrada con el sacro, pero la cuarta vértebra lumbar se encuentra ya inclinada en la dirección de la curva.
- **Tipo V:** Doble curva torácica donde la primera vértebra torácica se inclina hacia la convexidad de la curva superior.

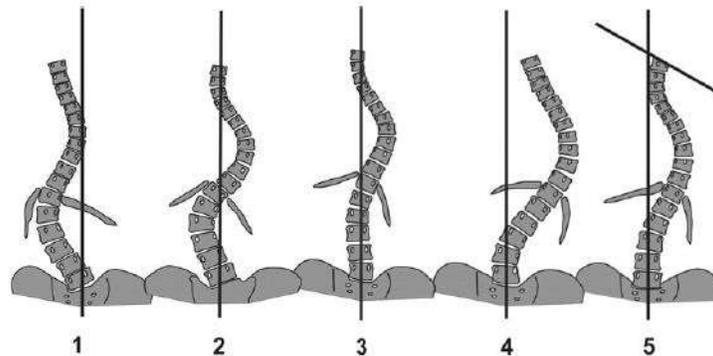


Figura 7. Tipos de curvas de acuerdo a la clasificación de King (Ovadia, 2013).

Una de las desventajas de la clasificación de King es que no considera el perfil sagital de la columna y las curvas mayores dobles y triples no están incluidas. (Tejeda, 2011).

Esta clasificación dio pie a un nuevo sistema, la clasificación Lenke, para este método el primer paso es identificar el tipo de curva, el modificador lumbar y por primera vez en el diagnóstico de escoliosis se toma en cuenta el plano sagital. Lenke propuso nuevos conceptos: (1) Curva Mayor; la curva de mayor grado que siempre es estructural. (2) Curva menor; una curva menor que puede ser o no ser estructural. (3) Curva no estructural; curva con un ángulo menor de 25° en radiografías de flexión lateral. (Ovadia, 2013).

Ovadia explica que esta clasificación define 6 tipos de curvas (2013):

- **Tipo 1:** La curva principal es torácica (MT) y la única estructural mientras que las otras que se puedan presentar no son estructurales.
- **Tipo 2:** Doble curva torácica donde la MT es la curva mayor, la curva proximal torácica (PT) es la curva menor pero estructural, y la curva toracolumbar (TL) o lumbar (L) son curvas menores y no estructurales.
- **Tipo 3:** Posee un patrón de doble curva en donde la MT es la mayor curva y la curva lumbar es la menor pero estructural, y la curva PT no es estructural.
- **Tipo 4:** Posee un patrón de triple curva donde cuando la curva MT es la curva mayor y las tres son estructurales.
- **Tipo 5:** La TL o L es la mayor y única curva estructural, y las curvas PT y/o MT son las menores y no estructurales.
- **Tipo 6:** La curva TL o L es la curva mayor y mide al menos 5° más que la MT que es la curva menor, pero es estructural.

A estos seis tipos de curva se le añade el modificador lumbar, este modificador se define por la ubicación de la línea central vertical sacra (CVSL), Lenke definió tres modificadores lumbares. (Ovadia, 2013).

La clasificación Lenke se explica de mejor manera en el siguiente cuadro

Tabla 3 Clasificación de Lenke tomada de “Escoliosis idiopática del adolescente: estudio descriptivo, revisión de la literatura y recomendaciones de manejo basadas en evidencia” (Llanos Lucero & Montes González, 2018)

Tabla 1. CLASIFICACIÓN DE LENKE. PATRONES DE CURVA							
TIPO DE CURVA	TORÁCICA PROXIMAL	TORÁCICA PRINCIPAL	TORACOLUMBAR/LUMBAR				
1 (Torácica principal)	No estructural	Estructural	No estructural		1A	2B	3A
2 (Torácica doble)	Estructural	Estructural	No estructural				
3 (Mayor doble)	No estructural	Estructural	Estructural				
4 (Mayor triple)	Estructural	Estructural	Estructural				
5 (Tóraco-lumbar/lumbar)	No estructural	No estructural	Estructural				
6 (Tóraco-lumbar/lumbar-torácica principal)	No estructural	Estructural	Estructural				

Además de estos parámetros existe el “Modificador torácico sagital, que se encuentra determinado por la extensión de la xifosis en las radiografías laterales” (perfil sagital). Para estos valores se han definido ángulos de Cobb específicos según Tejeda (2011).

- Al ángulo de Cobb de xifosis entre la T5 y la T12 $< 10^\circ$ le corresponde el símbolo ‘-’
- Al ángulo de Cobb de xifosis entre la T5 y la T12 entre 10° y 40° le corresponde el símbolo ‘N’
- Al ángulo de Cobb de xifosis entre la T5 y la T12 $> 40^\circ$ le corresponde el símbolo; ‘÷’

Con todos estos parámetros la clasificación de Lenke brinda 42 tipos específicos de curvas de escoliosis facilitando la decisión de tratamiento para el participante, sin embargo, para su interpretación es necesario que un examinador experimentado capaz de definir el tipo de escoliosis de acuerdo con la clasificación. El método de Lenke es más preciso ya que brinda más información que cualquiera de los otros métodos (Tejeda Barreras, 2011).

2.2.5 TRATAMIENTO

Existen diferentes rutas para el tratamiento de la escoliosis estos dependen del tipo de curva, a la etiología de la condición, el sexo del participante, la gravedad de la curvatura y su ubicación, así como su edad. El tratamiento de la escoliosis representa un costo muy elevado para los participantes, ya que estos pueden necesitar desde un corsé corrector de la postura hasta una cirugía correctora de la postura, sin contar las visitas previas al especialista y los estudios de imagen. (Mayo Clinic, 2019).

Los objetivos del tratamiento son; prevenir la progresión de la curva, mejorar la deformidad, disminuir o eliminar el dolor del participante y prevenir el riesgo cardiopulmonar (Gerendas, 1992).

La práctica más común para la escoliosis postural y no estructurada es la realización de ejercicios y fisioterapia específicos para la espalda. Este tipo de ejercicios es útil, además, para cualquier persona que desee corregir su postura. (Gerendas, 1992).

Otro método son los dispositivos de inmovilización, este no cura la condición, ni corrige la curvatura, pero evita el avance de esta. Se recomienda especialmente para participantes en proceso de crecimiento, no se recomienda en participantes en los cuales los huesos han dejado de crecer. La efectividad de esta herramienta aumenta con la cantidad de horas que se utilice. (Mayo Clinic, 2019).



Figura 8. dispositivo de inmovilización para el tratamiento de escoliosis. (Mayo Clinic, 2019)

Sin embargo, esta técnica puede ser perjudicial para el desarrollo de la identidad, la imagen corporal y las relaciones sociales de los participantes, que tienden a abandonar este tipo de tratamiento. (Gerendas, 1992).

La estimulación electro-espinal es una técnica no restrictiva que utiliza la estimulación de los músculos para-espinales profundos. (Gerendas, 1992). La electroestimulación permite que los músculos se relajen y se contraigan permitiendo que aquellos que se necesiten fortalecer lo hagan y aquellos que se encuentran contraídos se relajen, reduciendo la descompensación muscular. (García, 2020).

Se usa para curvas entre 25 y 35° o menores de 25° pero con una historia documentada de progresión. La curva debe ser flexible. La estimulación es llevada a cabo durante las horas de la noche, la actividad del participante no tiene restricciones durante el día. La sensación de la estimulación es relajante, la única sensación es la de las contracciones musculares. Es segura, efectiva y muy bien tolerada Es un avance que contribuye al bienestar físico y psicológico de los niños. (MAYO CLINIC, 2019).

La cirugía es el tratamiento recomendado para los casos más severos de escoliosis, este tipo de cirugía se conoce como fusión espinal. Durante esta cirugía los médicos unen dos o más vertebrae para que no se puedan mover de manera independiente, se colocan prótesis óseas ya sea provenientes del mismo participante o artificiales, y se colocan tornillos y varillas para mantener la columna inmóvil mientras las vértebras se fusionan con las nuevas estructuras. (MAYO CLINIC, 2019). A pesar de las posibles complicaciones de la cirugía como sangrado, infección, o dolor posterior a esta, una cirugía planeada y ejecutada correctamente es el tratamiento adecuado y no se considera radical. (Gerendas, 1992).

2.2.6 SENSORES DE POSICIÓN

Los sensores de posición son aquellos que presentan variaciones en función de la posición que ocupan. A la hora de elegir un sensor es necesario considerar la rapidez de respuesta, su propósito, consumo de corriente, etc. (Serna Ruiz et al., 2010).

2.2.6.1 ACELEROMETRO CAPACITIVO

Un acelerómetro es un dispositivo capaz de medir la aceleración, es decir, como varía la velocidad en el tiempo. Los acelerómetros capacitivos cambian la posición relativa de las placas de un

microcapacitor cuando este se ve afectado por la aceleración, es decir varían la capacitancia entre dos o más conductores entre los cuales existe un material dieléctrico (Bouziane, 2009).

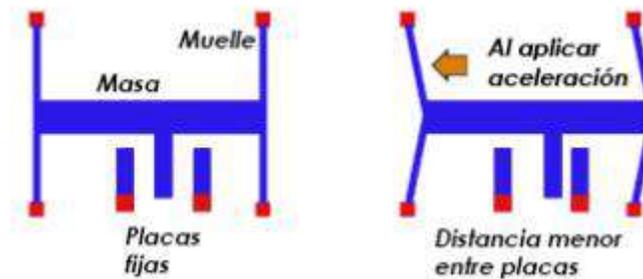


Figura 9. Esquema del funcionamiento del acelerómetro capacitivo. (Bouziane, 2009).

Como la fuerza de la gravedad actúa sobre el acelerómetro en todo momento y su valor es conocido, se puede utilizar los valores de cada eje del dispositivo para determinar el ángulo de inclinación. (Bouziane, 2009).

2.2.6.2 MAGNETÓMETRO

Un magnetómetro es un sensor capaz de medir la fuerza y dirección de un campo magnético. El magnetismo varía dependiendo del lugar debido a las diferencias a lo largo del campo magnético de la tierra (Bai & Bai, 2014). Por lo tanto, el magnetómetro es capaz de identificar una dirección específica como referencia (normalmente el norte) en el plano horizontal, permitiendo que ángulos horizontales sean medidos respecto a esta dirección (Bai & Bai, 2012).

El principal problema que tienen estos sensores es que son altamente sensibles a objetos magnéticos que se puedan encontrar a su alrededor, esto puede solucionarse mediante una constante calibración del sensor (Bai y Bai, 2012).

El magnetómetro electrónico se basa en varios fenómenos, el efecto Hall, magneto-inducción o magneto-resistencia. Este tipo de sensores consisten en un marco rígido que contiene un haz flexible que al ser atravesado por la corriente esta pasa por encima de una bobina de compensación, cuando un campo magnético es aplicado, la fuerza de Laplace actúa sobre el haz, lo que provoca una deformación mecánica que puede ser medida mediante un puente piezoresistivo (Condomines, 2018).

2.2.6.3 GIROSCOPIO

Un giroscopio es un sensor capaz de medir el desplazamiento angular, es decir el ángulo que se mueve algún objeto. La parte más importante de un giroscopio es una rueda que gira a una alta velocidad. Esto hace que los giroscopios sean altamente precisos pero voluminosos y caros (Bao, 2005).

Los giroscopios actuales son exclusivamente vibratorios, estos cuentan con dos modelos de vibración ortogonales, uno corresponde a la dirección x y el otro a la dirección y , la dirección z es la normal al plano del papel. (Bao, 2005).

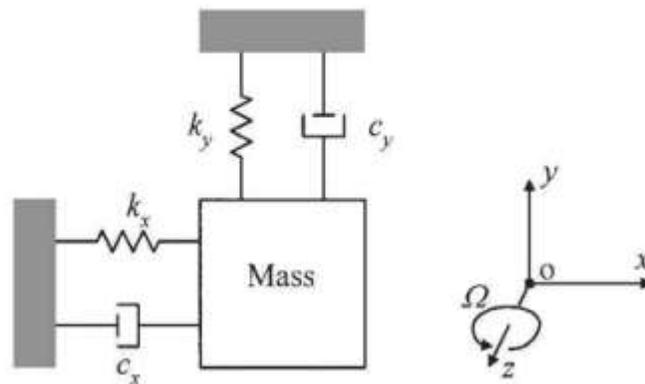


Figura 10. Modelo simplificado de un giroscopio. (Bao, 2005).

Para su funcionamiento se hace vibrar el modelo del eje x aplicando un voltaje, La fuerza de Coriolis (fuerza inercial) alrededor del eje y hará que el resonador haga vibrar al eje z , esta vibración puede ser detectada por la diferencia en la capacitancia entre la placa y el sustrato. (Bao, 2005). La señal del giroscopio es muy débil, es por lo cual es importante reducir las interferencias de tipo ambiental. Los giroscopios comerciales cuentan con un diseño relacionado con esquemas de conducción, amortiguamiento y detección, su fabricación es difícil ya que requiere una estructura estricta, la cual normalmente tiene que ser encapsulada al vacío. (Bao, 2005).

3 METODOLOGÍA

En este capítulo se describen las actividades y consideraciones que se llevaron a cabo para la realización de pruebas, desarrollo del sistema y su validación. Será notable que el trabajo realizado es diferente al propuesto inicialmente, esto debido a la situación sanitaria derivada del COVID-19. Se pretende obtener un buen nivel de confianza en las pruebas y validación a pesar del número de datos obtenidos y estudiados.

3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Ambos prototipos funcionan bajo el mismo concepto de sensores de posición, sin embargo, estos se colocan de manera diferente y la medición depende de la posición de los sensores colocados por el especialista.

3.1.1 DIAGNÓSTICO ESCOLIOSIS POSTURAL

Para la escoliosis postural se colocan 3 pares de sensores, en hombros, escapulas y cadera de la siguiente forma:

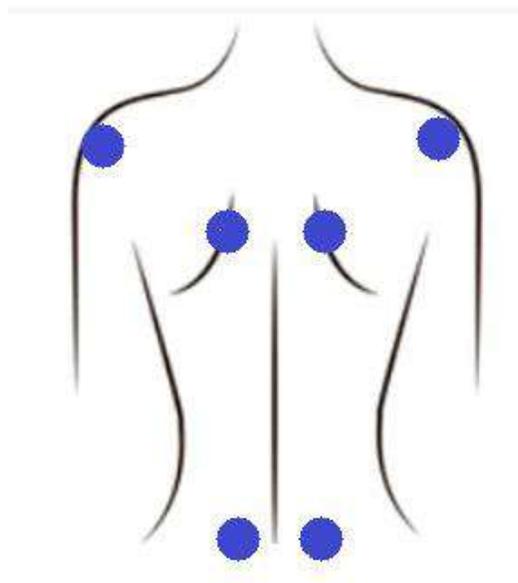


Figura 11. colocación de los sensores en participantes.(imagen de espalda tomada de shutterstock.com)

Los acelerómetros dibujan una línea horizontal entre ellos y miden la diferencia de posición entre los puntos importantes para el diagnostico escoliotico; hombros, escapulas y cadera.



Figura 12. sensores colocados en el participante para el diagnóstico de escoliosis postural.

3.1.2 DIAGNÓSTICO ESCOLIOSIS ESTRUCTURADA

La escoliosis estructurada es aquella con curvas mayores a 10° y para cual se requiere una medición vertical a lo largo de la columna como se muestra en la siguiente figura:



Figura 13. sensores colocados en el participante para el diagnóstico de escoliosis estructurada.

Los acelerómetros miden la diferencia entre los puntos donde son colocados para obtener el ángulo de inclinación de la columna.

3.2 SELECCIÓN DE MATERIALES

Para los dispositivos se utilizaron impresiones 3D de PLA, en donde se colocaron los sensores de posición y el microprocesador.

La tarjeta utilizada para el procesamiento de los datos es el ARDUINO NANO, que debido a su tamaño es el adecuado para no agregar peso o inestabilidad en el dispositivo, ni producir ningún tipo de incomodidad al participante.

Se utilizaron sensores mpu-6050, por su buena relación costo-calidad, que brinda una buena medición relativa y proporciona datos útiles para el cálculo de ángulos y los propósitos de esta investigación.

Demás para la fijación de sensores se utilizaron electrodos de succión, esto para evitar utilizar cualquier tipo de pegamento o adhesivo en los participantes, además de poder ser reutilizados entre cada uso con los voluntarios.

3.3 DISEÑO DE PROTOTIPO

Para el prototipo se buscó un diseño sencillo de reproducir, ligero y personalizable.

Para la escoliosis estructural se realizó un diseño estilo cadena que permite el ajuste a los puntos de medición, cuenta con 3 pares de acelerómetros capaces de ajustarse gracias a las perillas precordiales, que al funcionar con succión permiten tener una medición de manera no invasiva:

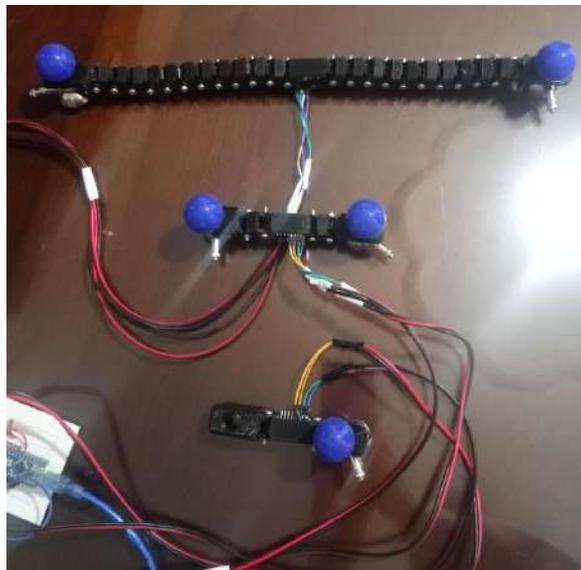


Figura 14. Prototipo para escoliosis postural.

Para el modelo estructural, es una sola cadena de 5 acelerómetros, a la cual se le pueden retirar o agregar dependiendo el largo de la columna del participante, ajustables también con perillas precordiales, tomando una medición vertical para obtener el ángulo de curvatura

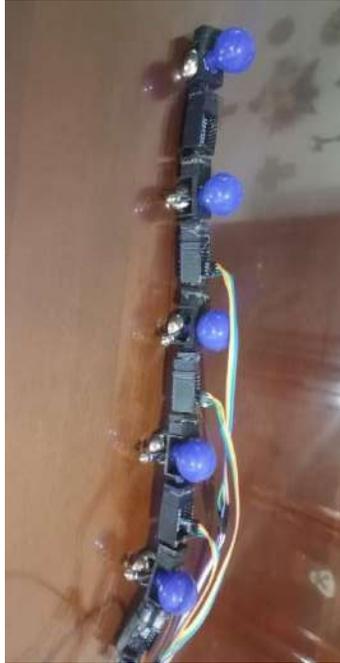


Figura 15. Prototipo para escoliosis estructural.

En el anexo no. 1 se adjuntan los planos de cada prototipo. (Argaez, 2021).

El algoritmo realizado por el Ingeniero Biomédico Luis Argaez Martinez, se muestra en el anexo 2.

3.4 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS Y CONSIDERACIONES

El prototipo propuesto ha sido diseñado considerando las recomendaciones de los especialistas de la Universidad Autónoma de Querétaro, recordando que la prueba principal para la detección de escoliosis es la prueba de Adams, además de la palpación externa de la columna del participante para encontrar la vértebra donde empieza la curvatura de la columna, tomando esto en cuenta se estimó el rango de IMC por lo bajo de 29.9, es decir sobrepeso, esto para hacer la colocación de los sensores más sencilla para los investigadores y evitar la presencia de más personas en la realización de las pruebas.

Según un artículo publicado en el Universal de Querétaro, en 2014 el 100% de los estudiantes de la UAQ tenía una mala postura (2014), además que de manera general, se estima que

aproximadamente el 50% de los mexicanos presenta dolor de cuello derivado de la mala postura al trabajar frente a la computadora (UNAM, 2018), debido a la situación actual los estudiantes y la comunidad UAQ en general ha tenido que adaptarse a los procesos académicos a distancia, lo que proporciona un ambiente poco ergonómico para el desarrollo de estas actividades, además de la disminución de actividad física por parte de los estudiantes.

Los principales problemas de postura derivan del uso de aparatos electrónicos en una mala posición, ya sean computadoras portátiles, celulares o tabletas, ya que operar dispositivos pequeños con las manos y uno o los dos brazos durante un largo tiempo puede generar graves consecuencias en la salud de las personas. Según la Unión Latinoamericana de Ergonomía, los principales riesgos son los siguientes (2020):

- Desordenes musculoesqueléticos
- Enfermedades cardiovasculares
- Fatiga excesiva
- Dolor de cabeza
- Dolor de cuello
- Lesiones por esfuerzos repetitivos

Para tener una idea clara de la realidad de la comunidad estudiantil de UAQ en línea acerca de los principales problemas y molestias en la espalda que se presentan se realizó una encuesta.

Garantizando obtener un buen nivel de confianza en los resultados se obtuvo el tamaño de la muestra de la siguiente forma:

Basándonos en las estadísticas proporcionadas por el sitio de planeación de la Universidad Autónoma de Querétaro (<https://planeacion.uaq.mx/>) en su recuento de estudiantes del ciclo 2019-2020 y limitando nuestro rango a solamente estudiantes de licenciatura y posgrado, se obtiene una población total de 23966 estudiantes.

Tomando la fórmula de población finita y el trabajo del Dr. Herrera Castellanos (2011) se entiende que:

$$n = \frac{N * Z_a^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_a^2 * p * q}$$

Donde:

N= representa el total de la población

Z_α= el índice de confianza

p= probabilidad de éxito o de que ocurra el evento estudiado

q = (1-p) probabilidad de que no ocurra el evento

e= error máximo aceptado

Al conocer la población total, tomaremos nuestro error máximo aceptado del 5%, teniendo un nivel de confianza del 95%, equivalente a 1.96 en el índice de confianza, por lo tanto los valores de p y q serán de 0.5 cada uno.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} = 379$$

Esto nos dice que, para obtener una buena representación de la población, 379 estudiantes deben ser encuestados.

Por cuestiones de contingencia y salubridad la encuesta se realizó a los estudiantes de la Universidad por medio de la plataforma de Google forms, dicha encuesta puede encontrarse en el apartado de anexos de esta tesis.

3.5 SELECCIÓN Y VALORACIÓN DE PARTICIPANTES

Una vez hecha la encuesta se abrió una convocatoria por medio de Facebook para buscar voluntarios para ser parte de este proyecto, debido a la falta de recursos y para evitar aglomeraciones, se redujo el número de participantes a 6 personas: 2 diagnosticados con escoliosis, 2 participantes sanos y 2 participantes control, que nunca habían sufrido problemas de espalda importantes, ni presentaban signos evidentes de escoliosis.

Cada sujeto acepto y entendió los riesgos que conllevaba cada una de las pruebas, incluyendo la radiación de los rayos X, así como la posible incomodidad de pasar un tiempo considerable inmóvil para la lectura de posición por los sensores.

El consentimiento informado que abarca ambas pruebas se adjunta en la sección de anexos de este documento.

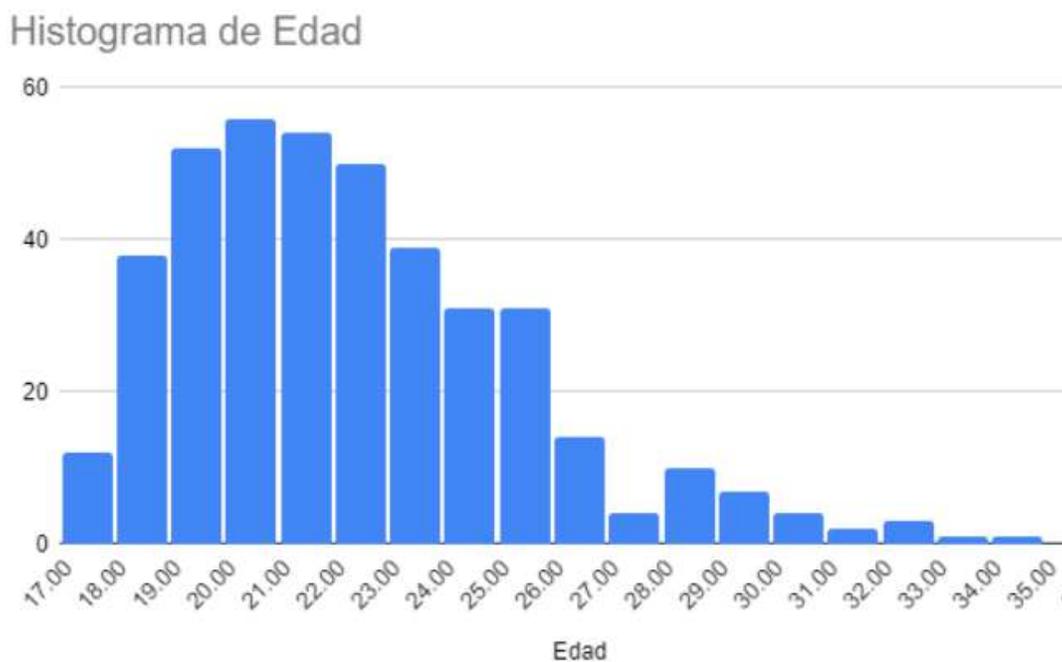
4 PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DE ENCUESTA ONLINE

Como primera instancia y para entender la magnitud de los problemas posturales de la comunidad estudiantil se realizó una encuesta, anteriormente mencionada, obteniendo las siguientes respuestas de 410 participantes:

Se presenta pregunta y diagrama de respuestas:

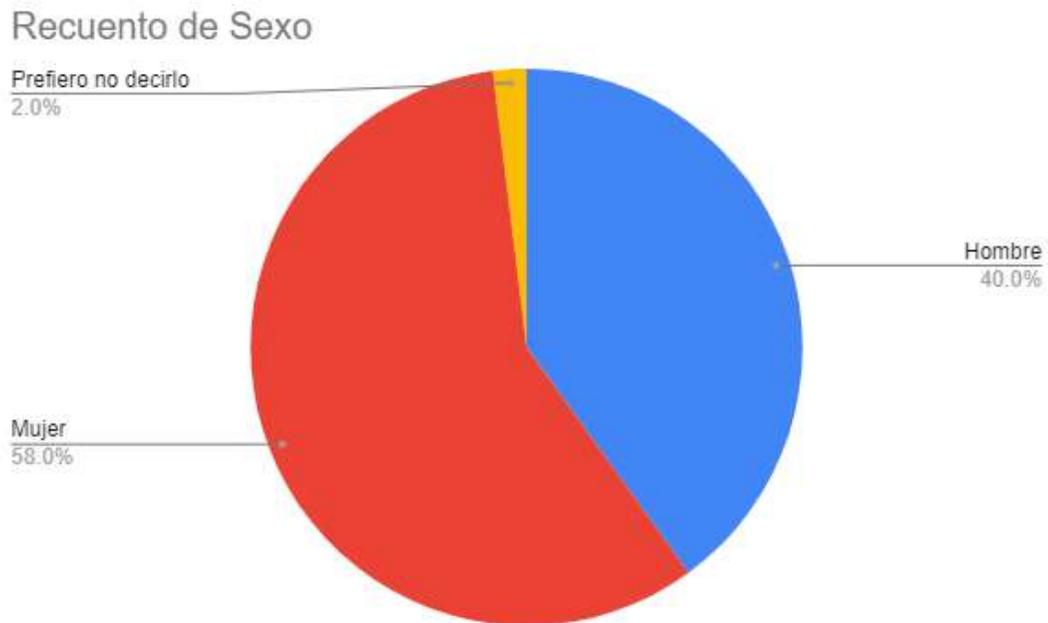
Edad:



Gráfica 1. histograma representante de la edad de los encuestados.

Se puede observar que el grupo de edad más dominante en nuestras encuestas fue de los 19 a los 26 años. Obteniendo una media de: 21.90 años.

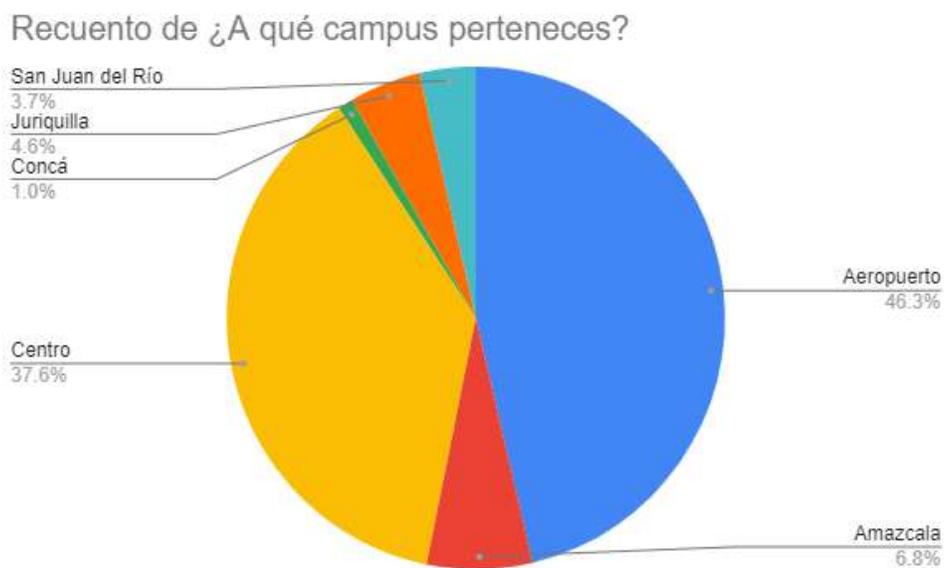
Sexo:



Gráfica 2. Diagrama de Venn represente del porcentaje de encuestados por sexo.

De los 410 encuestados, 238 se identificaron como mujeres, 164 como hombres, y 8 prefirieron no decirlo. Lo que nos reafirma que la comunidad universitaria presenta una población femenil más grande que la varonil.

Campus:

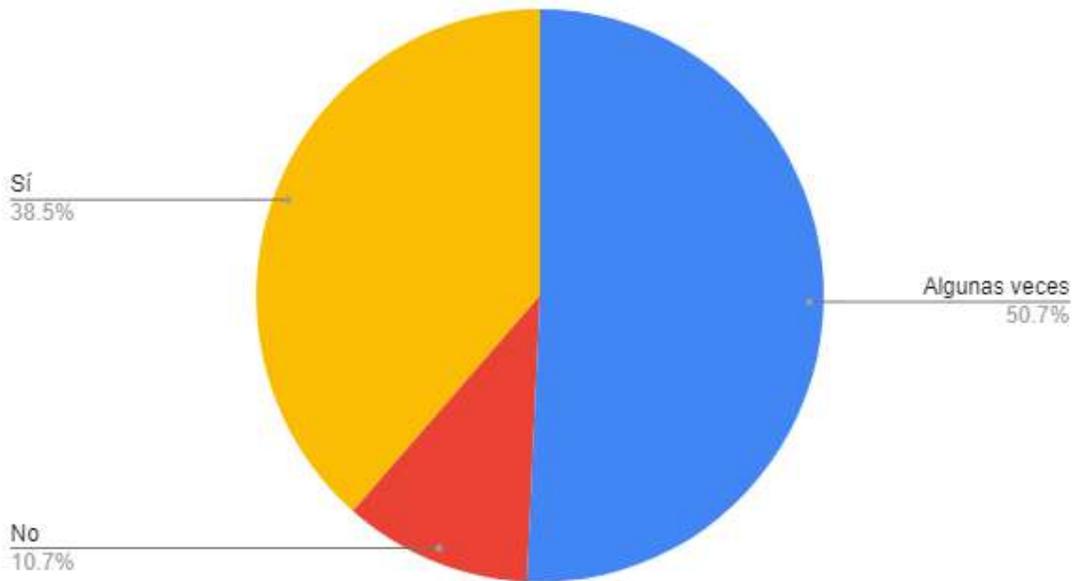


Gráfica 3. Diagrama de Venn representante del porcentaje de encuestados por campus.

A diferencia de la pregunta anterior, esta grafica no representa la realidad global de la universidad, ya que, según la Universidad Autónoma de Querétaro, la mayoría de sus estudiantes se concentra en el campus centro, sin embargo, esta discrepancia deriva de que los involucrados en la realización de este proyecto son pertenecientes al campus aeropuerto, por lo cual es entendible que la mayoría de las respuestas provengan de esta población.

Dolor de espalda:

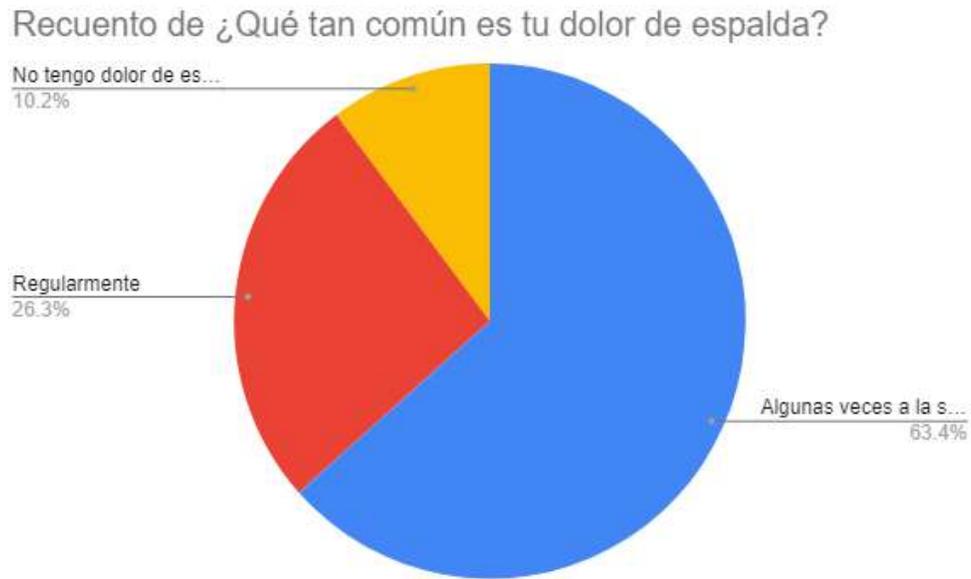
Recuento de ¿Sufres de dolor de espalda?



Gráfica 4. Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿sufres dolor de espalda?

De 410 respuestas, solamente 44 participantes mencionaron que no sufren dolor de espalda, mostrando por primera vez indicios de que la gran mayoría de la población estudiantil puede tener una mala postura causante del dolor de espalda.

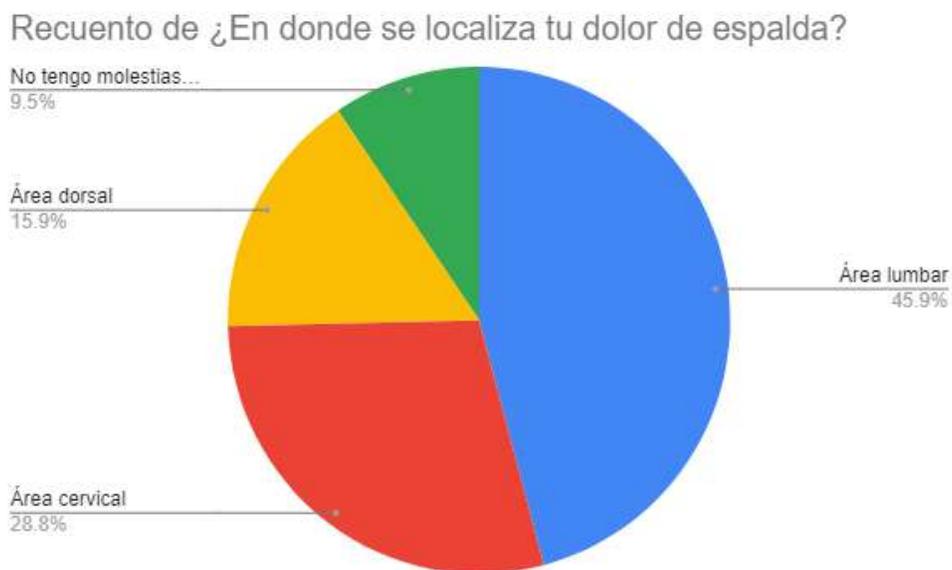
Recurrencia de dolor de espalda:



Gráfica 5. Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿sufres dolor de espalda?

Aunque el dolor de espalda se presenta en el 89.3% de los encuestados solamente el 26.3% lo presenta regularmente.

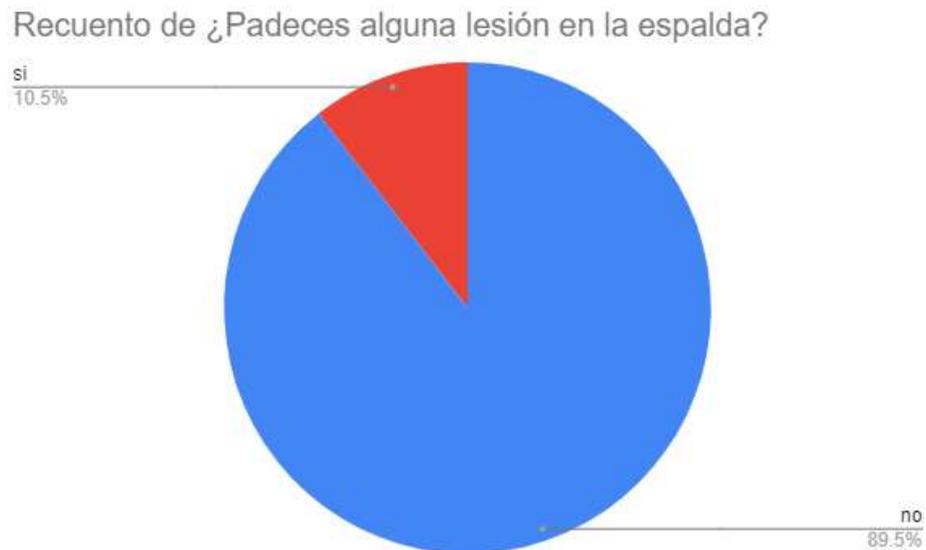
Localización:



Gráfica 6. Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿Dónde se localiza tu dolor de espalda?

Las respuestas obtenidas son congruentes con una mala postura debido a pasar muchas horas en una sola posición, el área lumbar se ve como la más afectada ya que son pocos los asientos de trabajo con un buen soporte lumbar, le sigue el área cervical, que puede llegar a tensarse por una mala posición al dormir, o simplemente por estrés. El área dorsal es la que menos porcentaje presenta.

Lesión de espalda:



Gráfica 7. Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿sufres dolor de espalda?

Aún cuando la gran mayoría de los participantes comunican sufrir dolor de espalda, solamente el 10.5% admite tener una lesión diagnosticada en la espalda, entre las más comunes se encuentran: escoliosis, fractura y contractura.

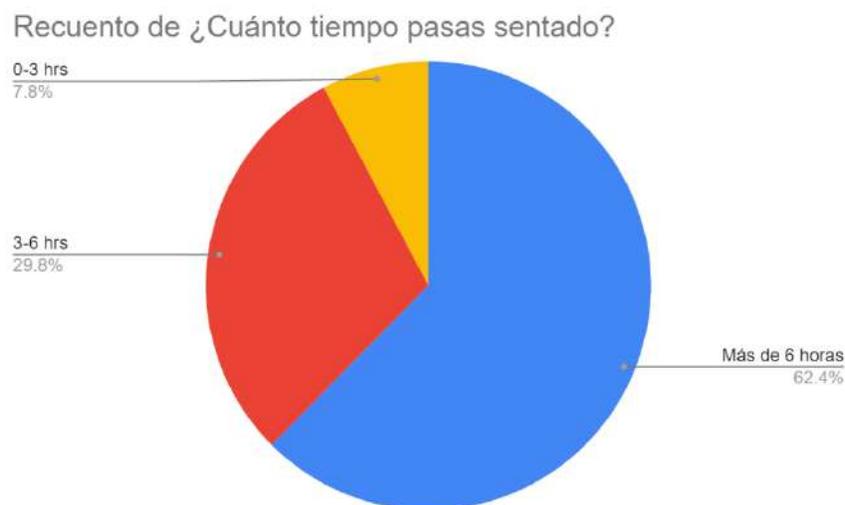
Actividad física:



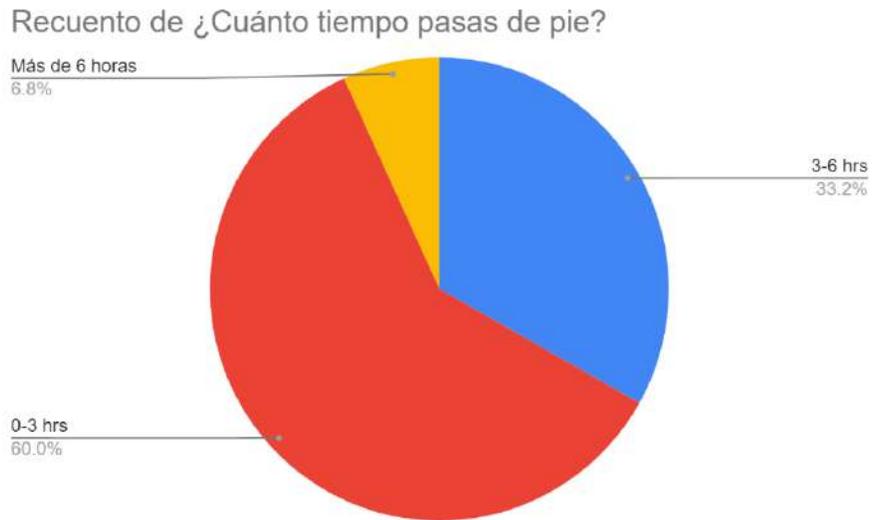
Gráfica 8. Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿Qué tan seguido realizas actividad física?

Como lo menciona la literatura, muchas veces la mala postura puede ser derivada por la falta de fuerza en los músculos abdominales y de la espalda, solamente el 21.5% de los encuestados menciona hacer ejercicio toda la semana, mientras que el resto, menciona poca o nula actividad física, lo que podría significar dolor o mala postura en niveles más elevados.

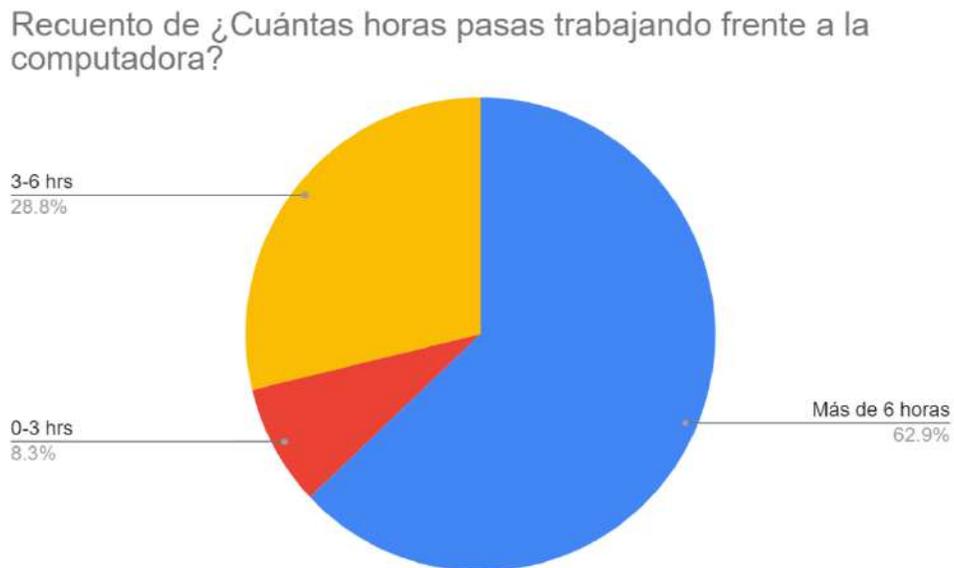
Tiempo en una sola posición:



Gráfica 9 Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿Cuánto tiempo pasas sentado?



Gráfica 10. Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿Cuánto tiempo pasas de pie?



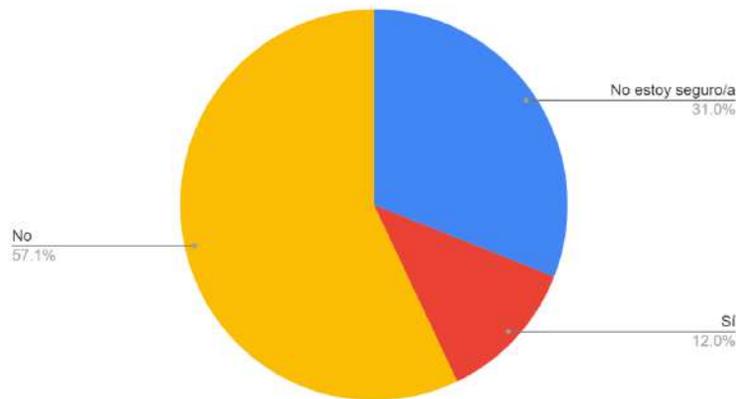
Gráfica 11. Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿Cuántas horas pasas trabajando frente a la computadora?

En estas últimas tres preguntas se le cuestiona al encuestado acerca de mantener una sola posición por mucho tiempo, la mayor parte de los encuestados pasa más de 6 horas sentado y/o trabajando

frente a la computadora, lo que puede derivar en dolores lumbares o en el área de cuello y hombros de una persona. Sin pausas adecuadas y estiramientos, los participantes pueden desarrollar contracturas que pueden derivar a una escoliosis postural.

Buena postura:

Recuento de ¿Consideras que tienes una buena postura?

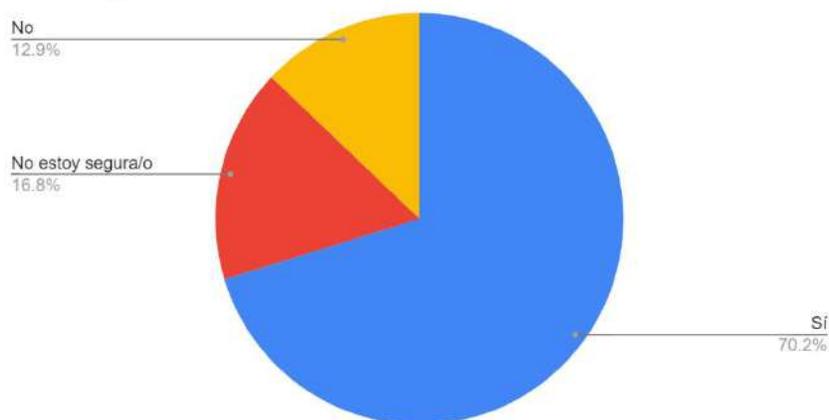


Gráfica 12 Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿Consideras que tienes una buena postura?

La gran mayoría de los encuestados considera que no tiene una buena posición, esto concuerda con el tiempo que el mayor porcentaje de ellos en una sola posición.

Hábitos posturales en la pandemia:

Recuento de ¿Crees que la contingencia ha modificado tus hábitos posturales?

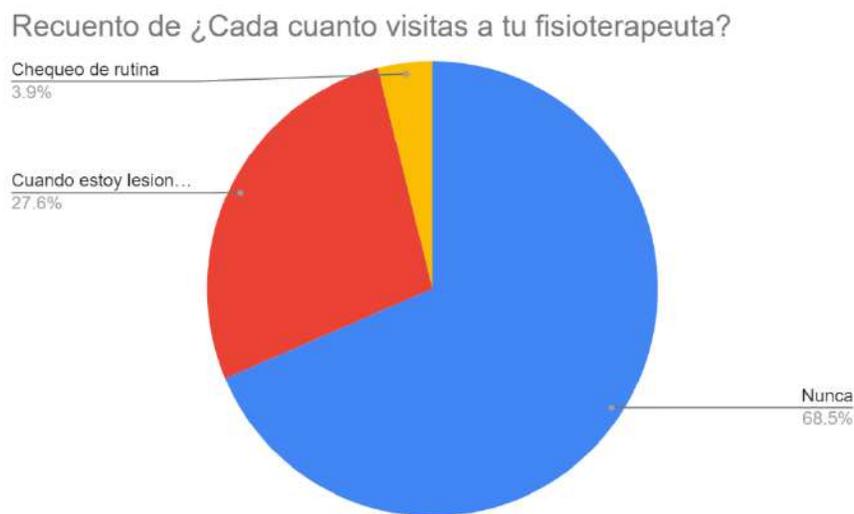


Gráfica 13. Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿Crees que la contingencia ha modificado tus hábitos posturales?

La vida escolar y laboral ha cambiado drásticamente debido a la contingencia derivada de la pandemia de COVID-19, el aislamiento obligatorio comenzó en marzo de 2020, y hasta la fecha (noviembre de 2021) se vive en una nueva normalidad, el trabajo desde casa, así como las clases virtuales han afectado a la población estudiantil, no solo social y académicamente, sino también en los hábitos físicos y posturales.

Entre las razones más comunes para esta afirmación, los encuestados mencionaron: trabajar en la computadora muchas horas, pasar sentados mucho tiempo, una vida mayormente sedentaria, falta de actividad física, no poder salir de casa.

Visita al fisioterapeuta:



Gráfica 14. Diagrama representante por porcentaje de las respuestas a la pregunta ¿Cada cuando visitas a tu fisioterapeuta

Con esta pregunta se puede notar que aun cuando la gran mayoría de los encuestados presentan molestias, dolor, pasan largos periodos de tiempo en una sola posición y consideran que tienen mala postura; solo un bajo porcentaje acude al fisioterapeuta para una sesión de rutina, esto nos habla de que el universitario promedio No posee la información necesaria o los hábitos necesarios para tener una buena higiene postural, lo que puede derivar no solo en escoliosis, si no en lesiones de mayor magnitud.

4.2 RADIOGRAFIAS, INTERPRETACIÓN Y ÁNGULOS DE COBB DE LOS PARTICIPANTES

Debido a las condiciones sanitarias y los recursos económicos, el número de participantes tuvo que verse drásticamente reducido, por seguridad tanto de los voluntarios y los investigadores involucrados.

Se contó con un total de 6 voluntarios; 2 sujetos femeninos, 4 masculinos a los cuales se les realizó la prueba de Adams, seguida de la toma de radiografías, para terminar con las pruebas del dispositivo. A todos se les proporcionó un consentimiento informado, explicando las condiciones de las pruebas, así como los posibles riesgos o complicaciones del experimento. El consentimiento informado se adjunta en el área de anexos.

Se usaron ambos dispositivos en los 6 participantes para determinar el tipo de escoliosis, así como su clasificación.

De los 6 voluntarios todos presentaron curvaturas, sin embargo, solamente 2 presentan curvaturas mayores a los 10° que de acuerdo con Gerendas, (1992), ya es considerado como una curvatura perteneciente a escoliosis estructurada. A continuación, se presentan las radiografías, interpretación y ángulo de Cobb por participante:

Participante A:

Participante A, femenino, 27 años, presenta lesión en la columna por lo cual tiene una prótesis de titanio, presenta doble curvatura en el área dorsal, derivadas de la lesión y el posicionamiento de la prótesis, con posible tendencia a acentuarse a lo largo del tiempo, sin embargo, estas curvaturas no presentan molestia o dolor expresadas por la participante.

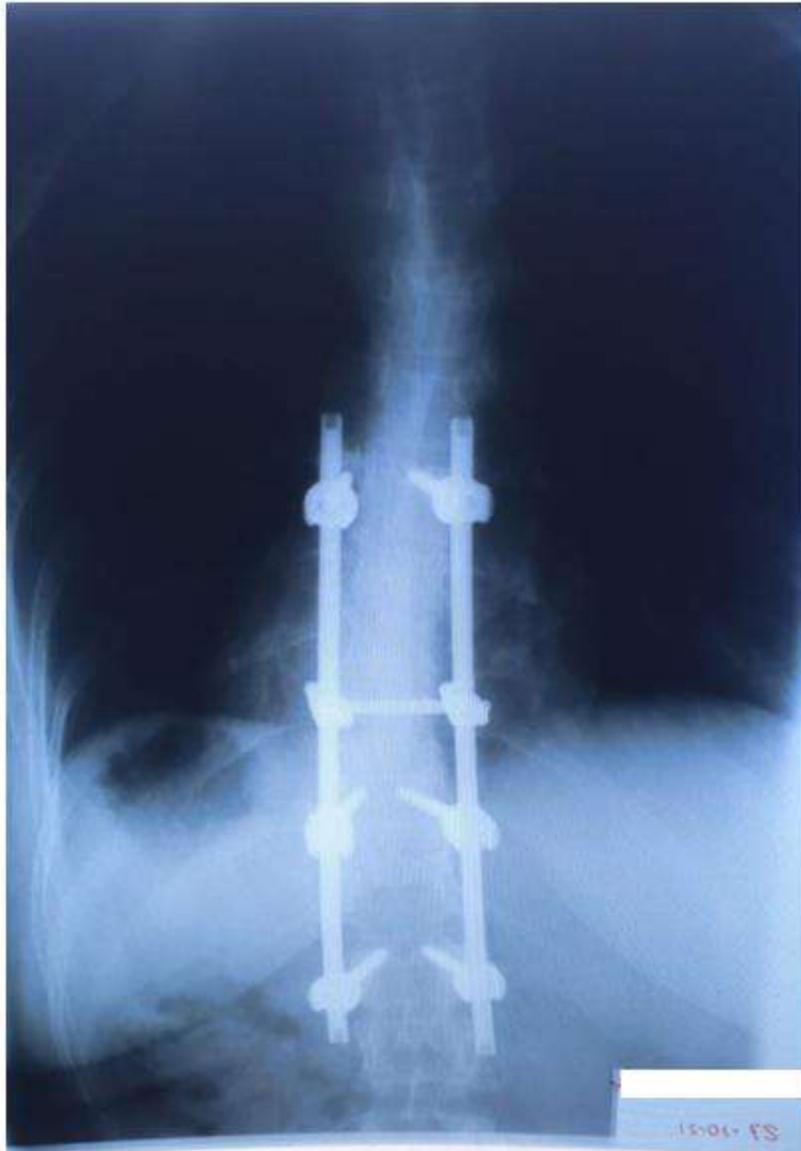


Figura 16. Radiografía AP dorsal de participante A, pueden observarse las dos curvaturas localizadas en el área dorsal.

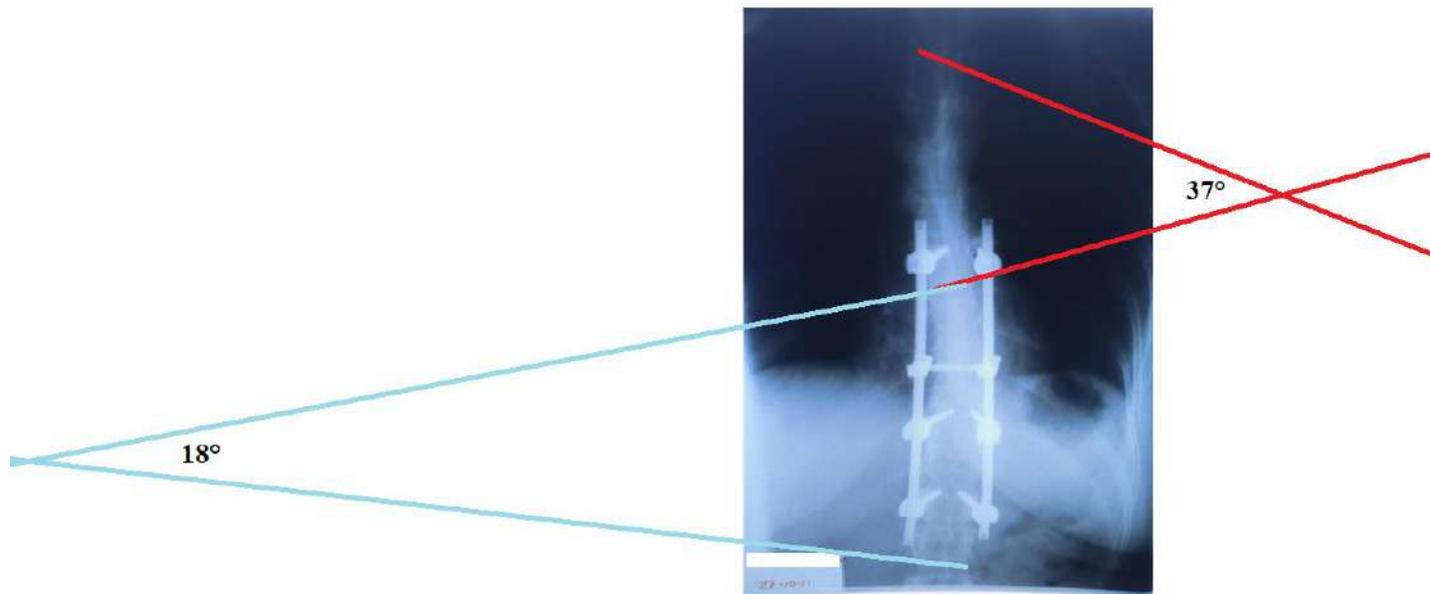


Figura 17. Obtención del ángulo de Cobb de las curvaturas del participante

La primera curvatura es cóncava hacia la derecha con un grado de inclinación de 37° , lo que la clasificaría como una curvatura de escoliosis Tipo III, la segunda es considerablemente menor y opuesta, siendo cóncava hacia la izquierda con un ángulo de 18° lo que la coloca dentro del rango de escoliosis tipo I. De acuerdo con la clasificación de King, la participante A tiene una curvatura tipo I, en forma de “S” siendo la mayor la curvatura más proximal al área cervical.

Al tomar en cuenta estos datos podemos clasificar a la Participante A en un grupo de escoliosis estructural, debido a la lesión previa y a la colocación de prótesis. Ya que ambas curvas se encuentran en el área toráco-lumbar, yendo de la vertebra T2 a la L2.

Participante B:

Participante B, masculino, 24 años, actividad física media, pasa tiempos largos en una sola posición ya sea de pie o sentado, presenta curvaturas en áreas dorsal y lumbar, eje de la columna dorsal con curvatura cóncava a la izquierda de 4° , y hacia la derecha en el área lumbar de 12°

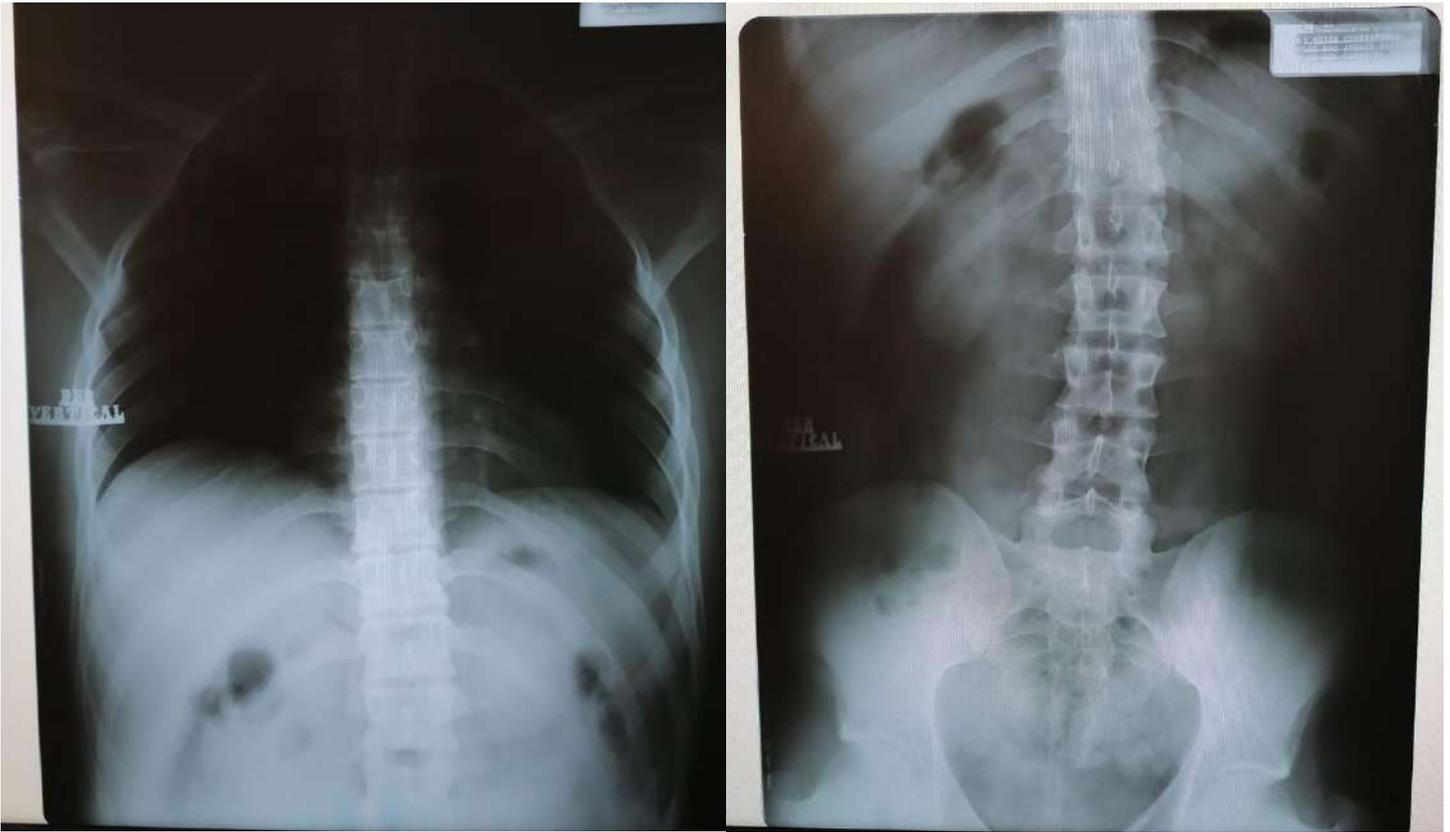


Figura 18. Radiografías Ap dorsales y lumbares de la localización de las curvaturas.

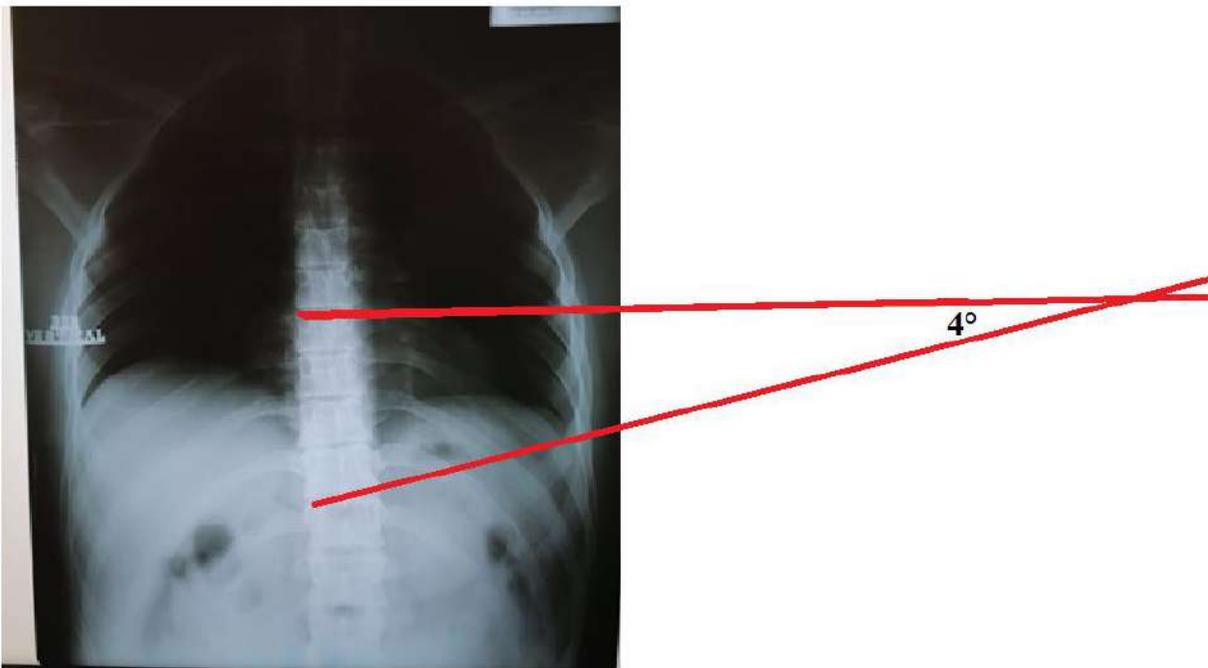


Figura 19. Obtención del ángulo de Cobb de la primera curvatura del participante B.

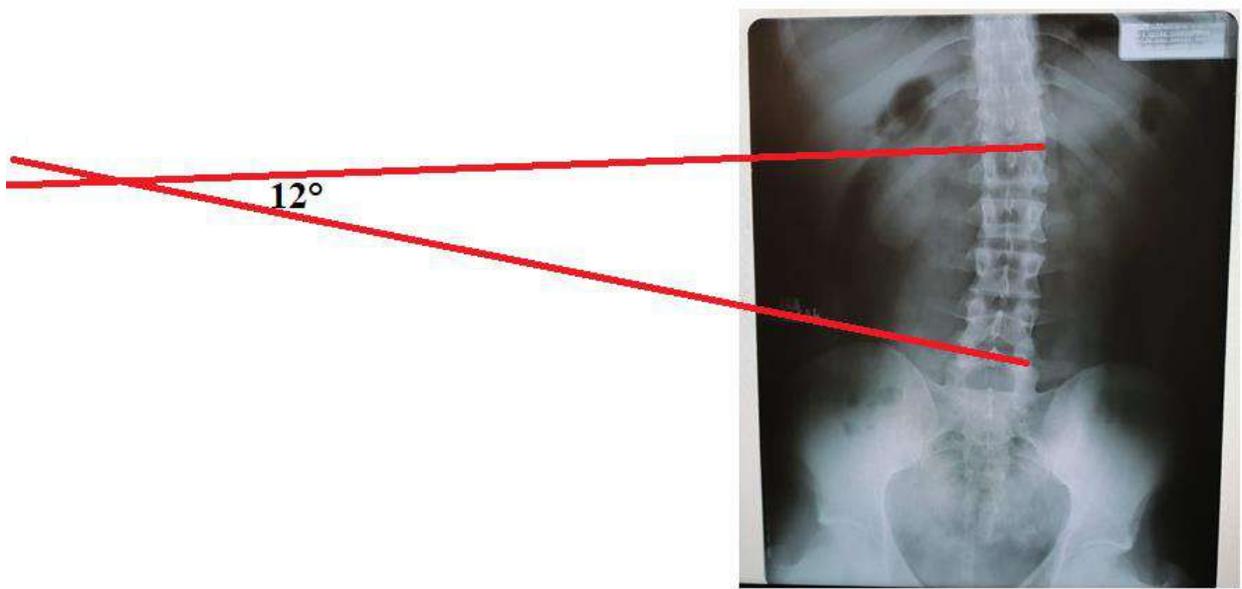


Figura 20. Angulo de Cobb de la segunda curvatura del participante B.

La primera curvatura se encuentra dentro del rango de normalidad, siendo menor de 10° , sin embargo la siguiente curva, ubicada en el área toraco lumbar posee un ángulo de 12° , por lo cual ya se considera dentro del tipo I de escoliosis estructurada, en este caso se toma como condición idiopática, ya que no hay evidencia suficiente para saber la causa de la curvatura, podría ser debido a las largas jornadas del participante en una sola posición, esto tomando de punto de partida la localización, sin embargo no se puede asegurar el motivo.

Participante C:

Participante C, masculino 32 años, alta actividad física, posibles lesiones en el área cervical y lumbar independientes de la condición escoliótica, presenta curvatura en el área dorsal, cóncava hacia la izquierda de 8° , el participante presenta distintas alteraciones a lo largo de toda la columna, sin embargo, para los objetivos de esta investigación solo se enfocará en la curvatura tipo escoliótica en el área dorsal.

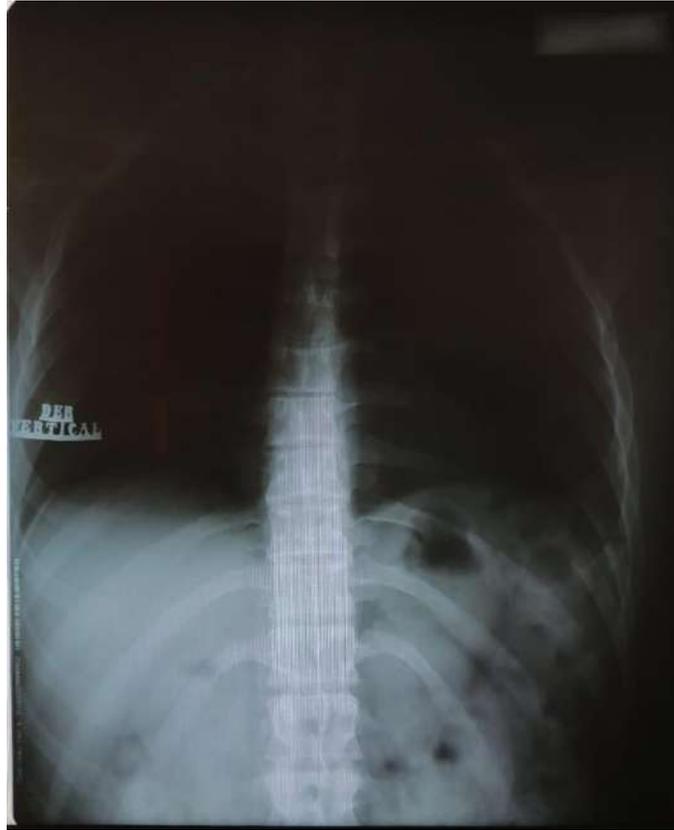


Figura 21. Radiografía AP simple área torácica de la columna en participante C.

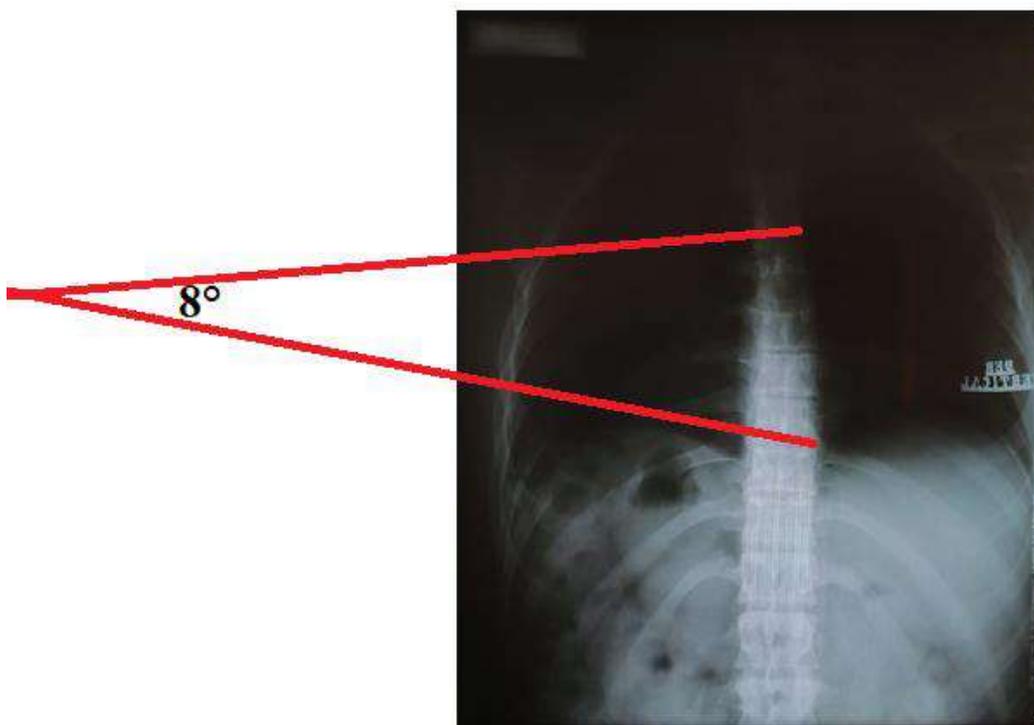


Figura 22. Ángulo de Cobb en el participante C en la zona torácica

El participante C presenta una sola curvatura con ángulo de 8° , lo que se considera dentro del rango normal, por lo cual las diferencias observadas entre sus lado izquierdo y derecho se deben a otras lesiones, características en la columna y por lo tanto dan lugar a una escoliosis postural, donde son notables la diferencias entre los hombros, escapula y caderas.

Participante D:

Participante D, masculino, 33 años, actividad física media, presenta cuerpos vertebrales simétricos, así como espacios intervertebrales simétricos, el participante presenta dos curvaturas una cóncava hacia la derecha en el área lumbosacra y cóncava hacia la izquierda en área dorsal de la columna, ambas curvaturas de 5° .

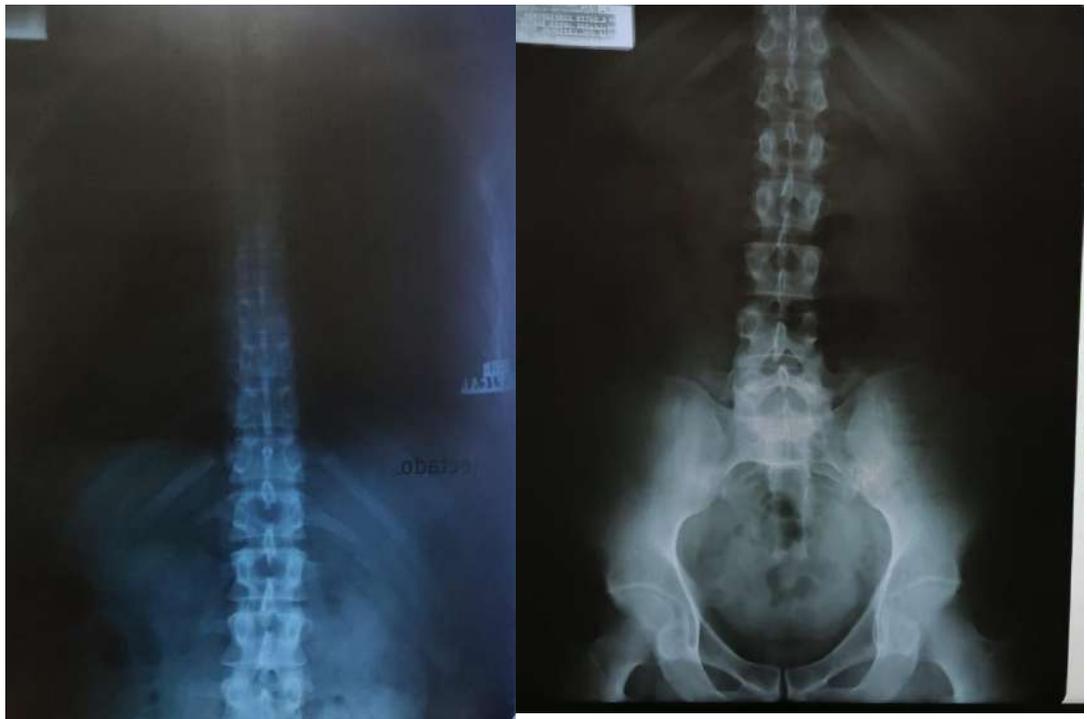


Figura 23. Radiografías AP simples dorsales y lumbares del participante D

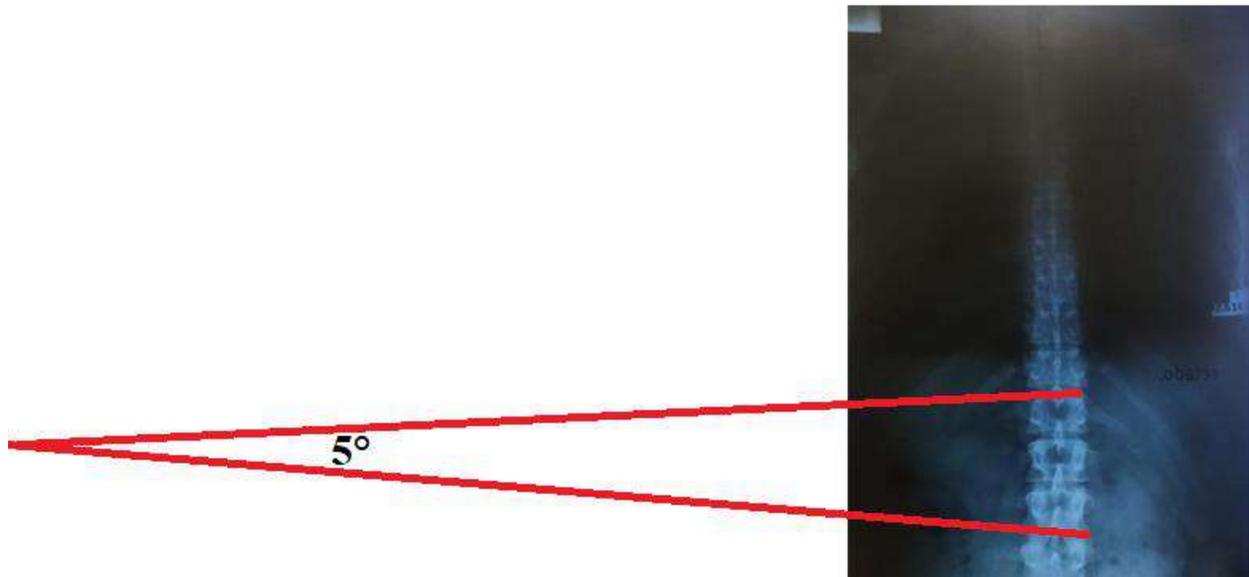


Figura 24. Ángulo de Cobb del área dorsal del participante D

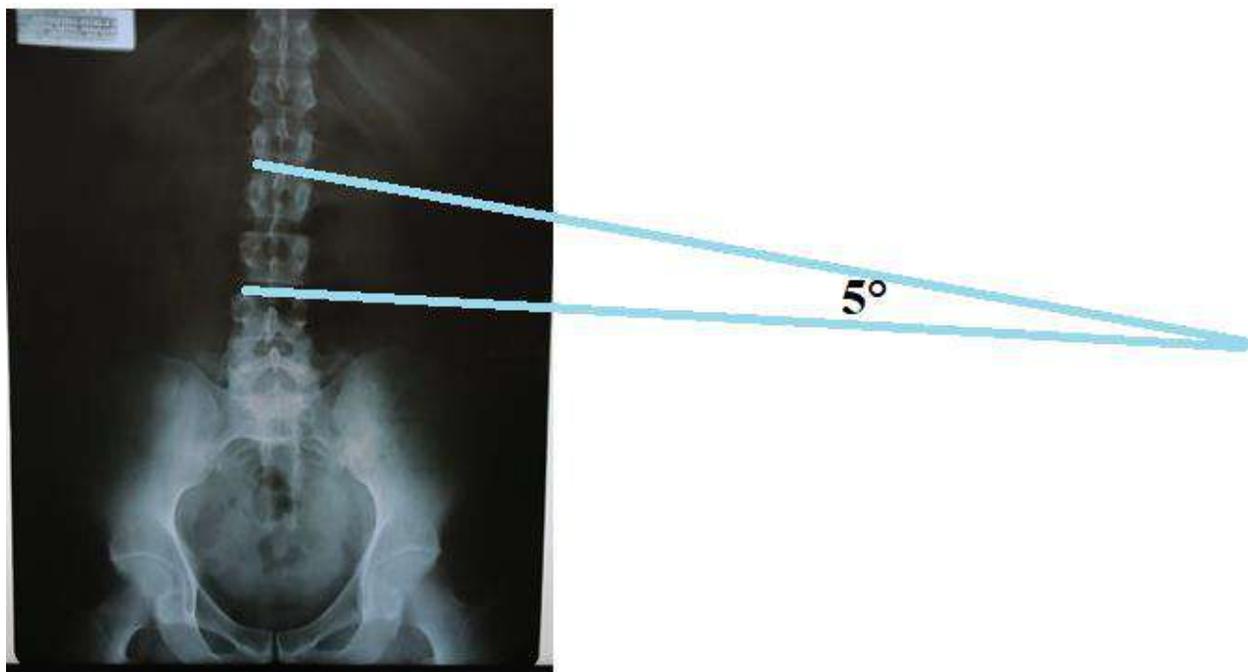


Figura 25. Ángulo de Cobb del área lumbosacra del participante D

Ambas curvaturas en el participante D son de 5° lo cual lo coloca fuera del rango de escoliosis estructural, y al ser un grado tan bajo se puede descartar la posible escoliosis postural, ya que recordando la literatura el cuerpo humano no es estrictamente simétrico en todos los sentidos, y el participante D se encuentra dentro de los rangos normales de curvatura, sin embargo, es importante

monitorear contracturas musculares, o hábitos posturales que puedan llegar a afectar estas curvaturas haciéndolas más pronunciadas.

Participante E:

Participante E, femenino, 33 años, actividad física media, suele pasar largos periodos de tiempo en una sola posición, presenta cuerpos vertebrales simétricos, así como espacios vertebrales simétricos con solo una curvatura cóncava a la izquierda en el área lumbar de 5°.



Figura 26. Radiografía AP simple del área lumbar de la participante E.

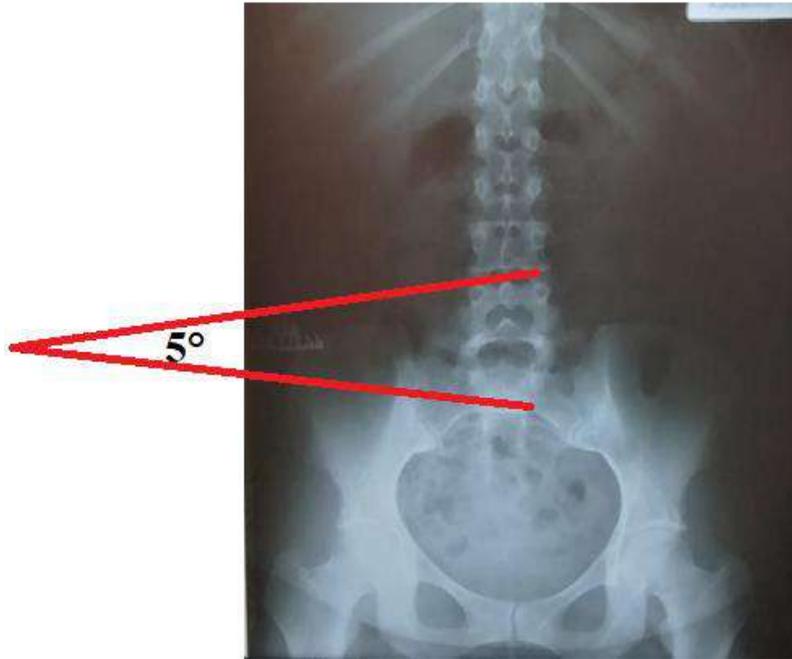


Figura 27. Ángulo de Cobb de la curvatura toraco lumbar de la participante E.

Al igual que en el caso del participante D, la participante E presenta una curvatura mínima, dentro del rango normal fuera de la condición escoliótica estructural, pudiendo descartar la posibilidad de escoliosis postural. La posible razón de esta curva puede deberse a largos periodos en una sola posición, ya sea sentada o trabajando frente a una computadora por largos periodos de tiempo sin el soporte lumbar adecuado.

Participante F:

Participante F, masculino, 26 años, actividad física baja presenta 3 curvaturas a lo largo de la espalda, la primera ubicada en el área cervical, cóncava a la izquierda de 4°, la segunda en el área dorsal con concavidad hacia la izquierda de 5° y la última en el área lumbar cóncava a la derecha de 5°.



Figura 28. Radiografía AP de área cervical del participante F.



Figura 29. Radiografía AP del área dorsal del participante F.



Figura 30, Radiografía AP del área lumbar del participante F.

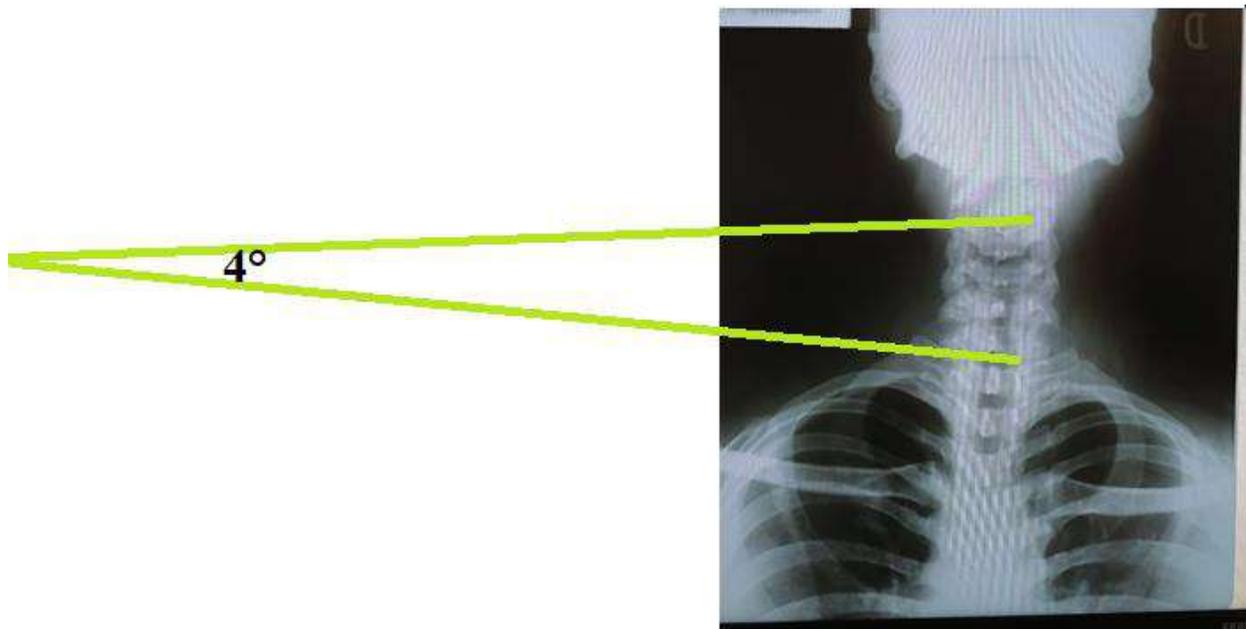


Figura 31. Ángulo de Cobb del área cervical del participante F

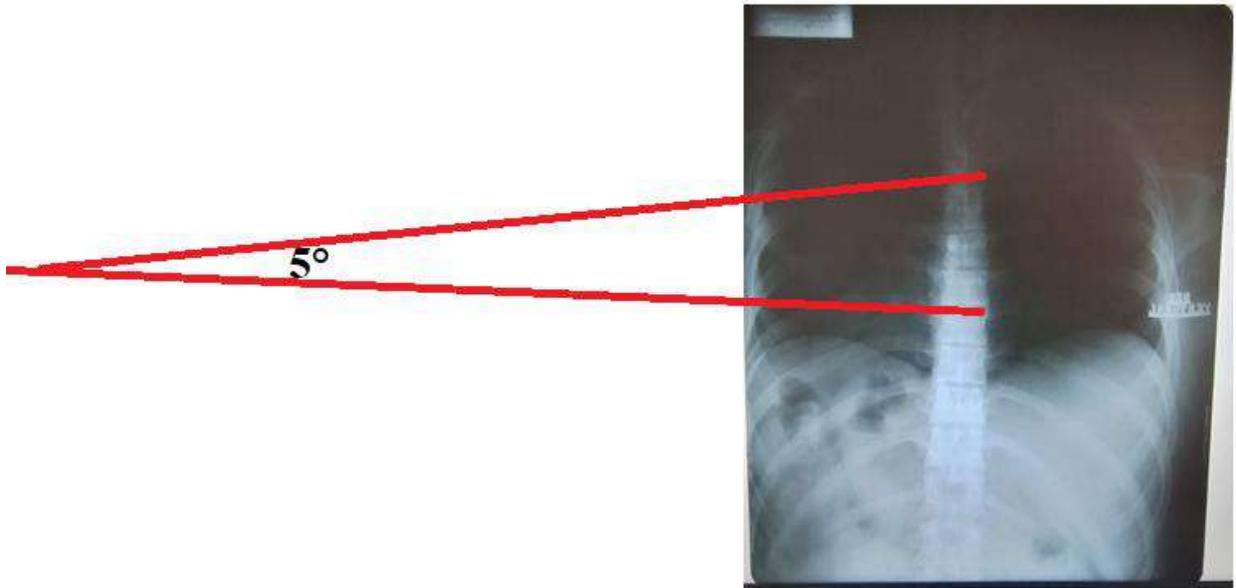


Figura 32. Ángulo de Cobb del área dorsal del participante F

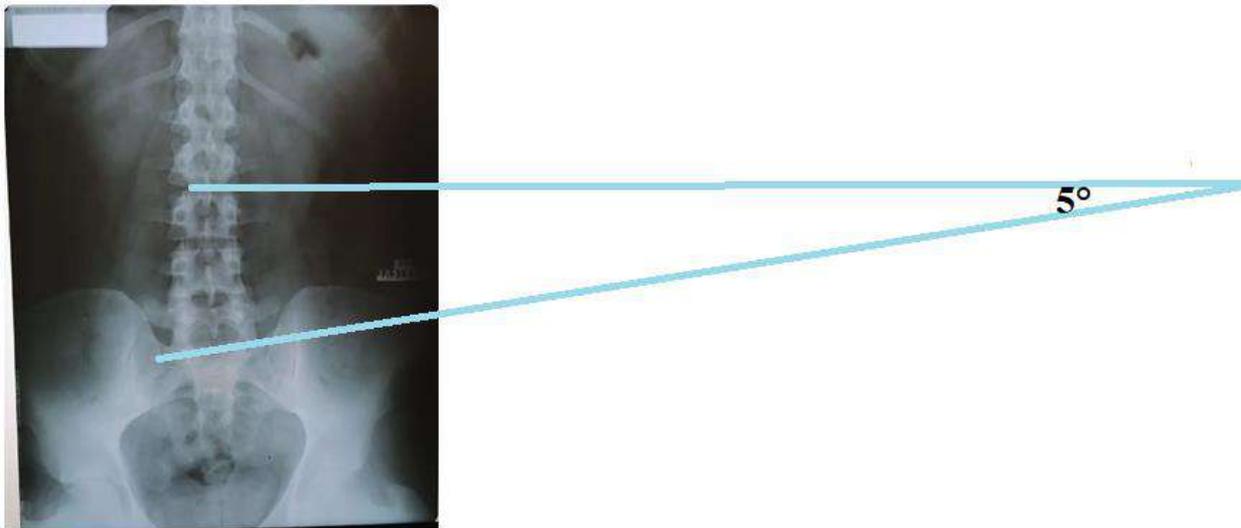


Figura 33. Ángulo de Cobb del área lumbar del participante F.

El participante F tiene 3 curvas dentro del rango normal menor a 10° , sin embargo, estas 3 curvas son poco comunes y producen una inestabilidad a lo largo de la columna lo que puede provocar una condición escoliótica postural, la literatura nombra curvas dobles, pero siempre comenzando del área dorsal hacia la lumbar, es posible que el participante a lo largo del tiempo incremente estas curvaturas pudiendo entrar en el rango de escoliosis estructural, además de que es propenso a dolor de cuello y espalda por la misma razón.

Para esta investigación se tomaron las siguientes consideraciones para la realización de pruebas:

Participante A y Participante B: Diagnóstico positivo de escoliosis estructurada.

Participante C y Participante F: Diagnóstico escoliosis postural con riesgo a estructurarse.

Participante D y Participante E: Participantes sanos, curvaturas menores o iguales a 5°.

4.3 RESULTADOS DEL DISPOSITIVO

Las pruebas se realizaron a todos los participantes con el prototipo 1, es decir el detector de escoliosis postural.

Donde Par 1 se refiere al par colocado en hombros, par 2 en escapula, y par 3 en cadera. Se realizó una toma de 1000 muestras por participante con un promedio de 6 datos despreciables por cuestiones de estabilización de los sensores.

Se tomó el primer un dispositivo como un indicador de “Sí o No” en cuanto a la presencia de escoliosis postural. Aquellos participantes con una inclinación mayor a los 5° en alguno de los pares siguió a la siguiente prueba, de escoliosis estructural.

Las pruebas de escoliosis estructural tomaron 1000 pruebas de igual manera, se despreciaron un promedio de 5 datos por cuestiones de estabilidad y calibración de los sensores. Se ajustó el número de sensores dependiendo en que zona se detectó la mayor inclinación de la prueba 1.

Participante A:

Tabla 4. Promedio de las mediciones realizadas por cada par de sensores:

PAR 1	PAR 2	PAR 3
7.76462	-5.61414	-2.21558

El par 1 denota una inclinación de 7° en los hombros, lo cuál de inmediato clasifica al participante A en escoliosis postural con posible estructuración. El par 2 también es mayor a los 5° detonando inclinación en el nivel dorsal hacia la izquierda. Siendo el par 3, del área lumbar el que presenta una menor inclinación.

La siguiente tabla muestra los promedios obtenidos en el dispositivo de escoliosis estructural.

Tabla 5. Promedio de las mediciones realizadas por cada sensor:

Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4
5.076696697	4.68032032	-6.91211211	-5.08837838

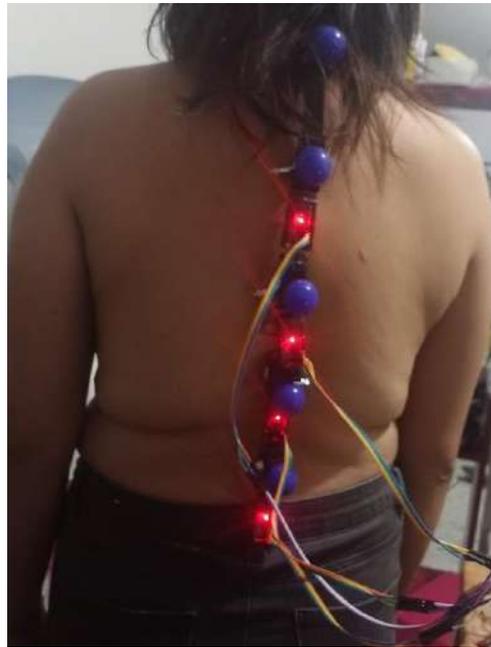


Figura 34. Colocación de los sensores en participante A.

Los datos proporcionados por el dispositivo muestran una curvatura notable en el área dorsal.

Participante B:

Tabla 6. Promedio de las mediciones realizadas por cada par de sensores:

PAR 1	PAR 2	PAR 3
3.97511	-5.94807	-2.6324

Al igual que en el caso del participante A, el participante B muestra una inclinación arriba de los 5° en el área dorsal, por lo cual se clasifica con escoliosis postural, posible condición estructural, por lo cual se le realiza la prueba 2.

Tabla 7. Promedio de las mediciones realizadas por cada sensor:

SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4
3.97511	-2.6324	-7.73363	-5.94807

El dispositivo muestra una notable curvatura hacia la zona toraco-lumbar del participante hacia la izquierda.

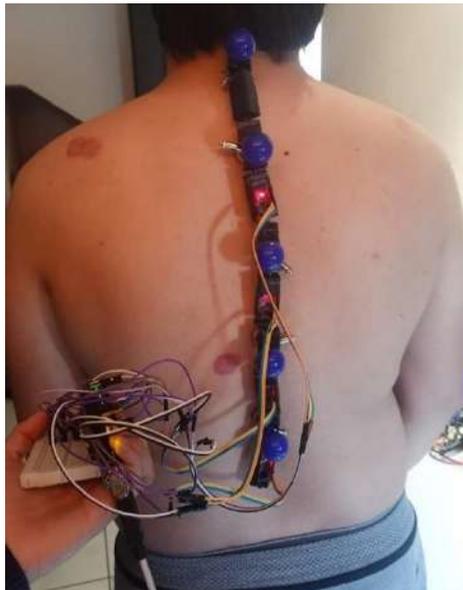


Figura 35. Colocación de prototipo en participante.

Participante C:

Tabla 8. Promedio de las mediciones realizadas por cada sensor:

PAR 1	PAR 2	PAR 3
3.2874668	-3.925669	2.7368008

Los resultados de esta prueba nos permite clasificar a este participante con escoliosis postural, ya que presenta una inclinación menor a los 5° en cada par, sin embargo, la inclinación más significativa es en el área dorsal hacia la izquierda.

Participante D:

Tabla 9. Promedio de las mediciones realizadas por cada sensor:

PAR 1	PAR 2	PAR 3
2.73906	-2.01599	3.28284

El participante D muestra inclinaciones menores hacia la izquierda en la zona dorsal y a la derecha en el área lumbar, sin embargo esta sigue siendo menor al rango de inclinación preocupable, por lo cual el Participante D está clasificado como un participante sano con inclinaciones dentro del rango normal.

Participante E:

Tabla 10. Promedio de las mediciones realizadas por cada sensor:

PAR 1	PAR 2	PAR 3
0.7439444	3.4580754	-3.9624

El participante E muestra curvaturas mínimas, siendo la más prominente la del área lumbar, sin embargo, se considera dentro del rango normal, por lo cual el dispositivo le clasifica como sano.

Participante F:

Tabla 11. Promedio de las mediciones realizadas por cada sensor:

PAR 1	PAR 2	PAR 3
-2.46791	-4.950839	1.4896217

El participante F muestra rangos sanos sin embargo considerando la forma de la columna, se decidió hacer la prueba 2 para verificar y estudiar los resultados.

Tabla 12. Promedio de las mediciones realizadas por cada sensor:

SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4
-4.65412	-0.90364	-2.81053	4.72272

El participante mostró curvaturas a la izquierda en nivel cervical y dorsal y a nivel lumbar hacia la derecha.



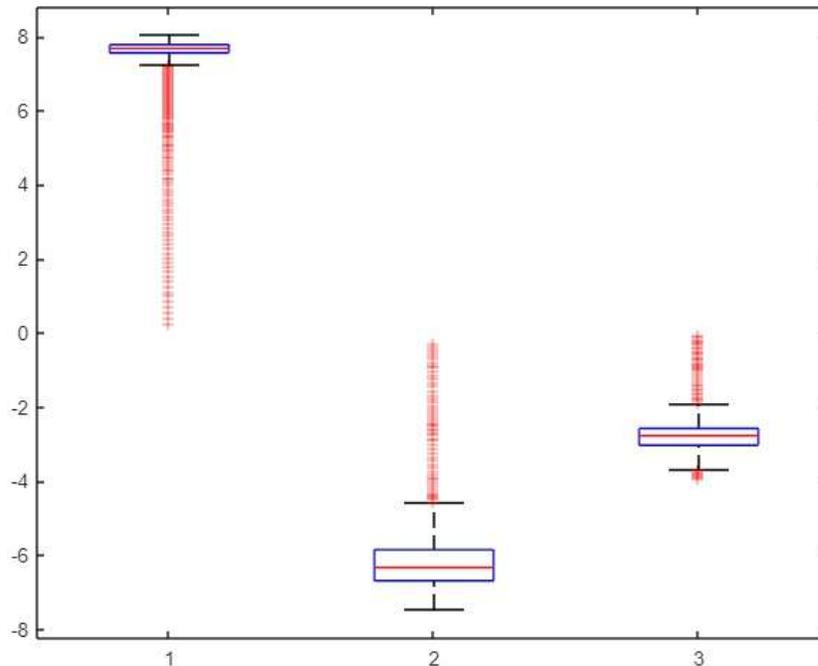
Figura 36. Colocación de prototipo en participante.

4.4 RESULTADOS DE LOS PARTICIPANTES POR PRUEBA

A cada participante se le realizó una toma de 1000 muestras obteniendo los siguientes resultados expresados en graficas de cajas y bigotes, con la finalidad de apreciar la estabilidad de los sensores y su nivel de confiabilidad al momento de la medición.

4.4.1 ESCOLIOSIS POSTURAL

Participante A



Grafica 15. Gráfica de caja y bigotes de las medidas adquiridas del participante A, en la prueba de escoliosis postural.

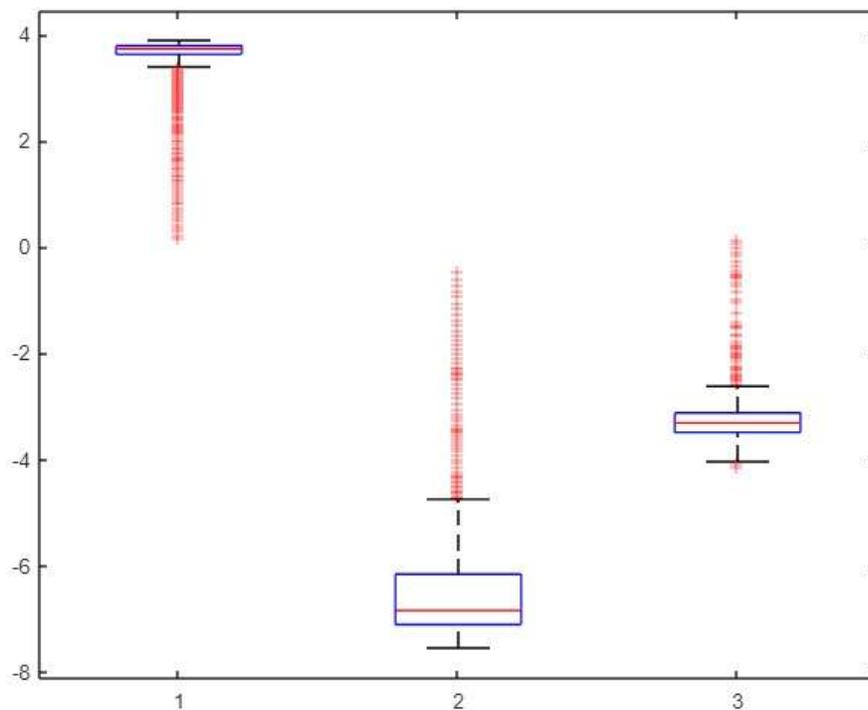
La grafica muestra una baja dispersión en las mediciones obtenidas por los sensores, por lo cual podemos inferir que los sensores en el participante A se colocaron correctamente en el participante, sin embargo en todas las mediciones se presentan datos dispersos a partir del rango máximo intercuantílico inferior, lo que podría significar que esas mediciones fueron obtenidas e influenciadas por condiciones externas (entiéndase como meneos involuntarios del participante, ya sea por incomodidad, frío, o movimientos del dispositivo realizadas por la investigadora al tomar la medición).

Analizando la gráfica 15, se pueden indentificar 120 datos dispersos de las 1000 muestras obtenidas con el primer par de sensores, incluyendo el punto minimo que fue de 0.25.

En el par 2, se pueden notar 55 puntos dispersos, incluyendo el punto más alto, de -0.31, en este par se puede observar una mayor dispersión entre las mediciones, sin embargo el 94.5% de los datos sigue dentro de los cuartiles 2 y 3, por lo que se puede seguir considerando un buen nivel de confianza.

En el par 3, el número de datos dispersos es de 50, incluyendo los picos máximos y mínimos de -0.06 y -3.95 respectivamente, pero por el comportamiento de dentro de los cuartiles es uniforme por lo que se puede asumir un buen nivel de estabilidad en los sensores.

Obteniendo en general un 92.5% de los datos dentro de los límites intercuantílicos, se puede asumir que el nivel de estabilidad en las pruebas del participante A es equivalente al número de datos entre los límites mencionados, por lo que para esa investigación se tomará como el nivel de estabilidad.

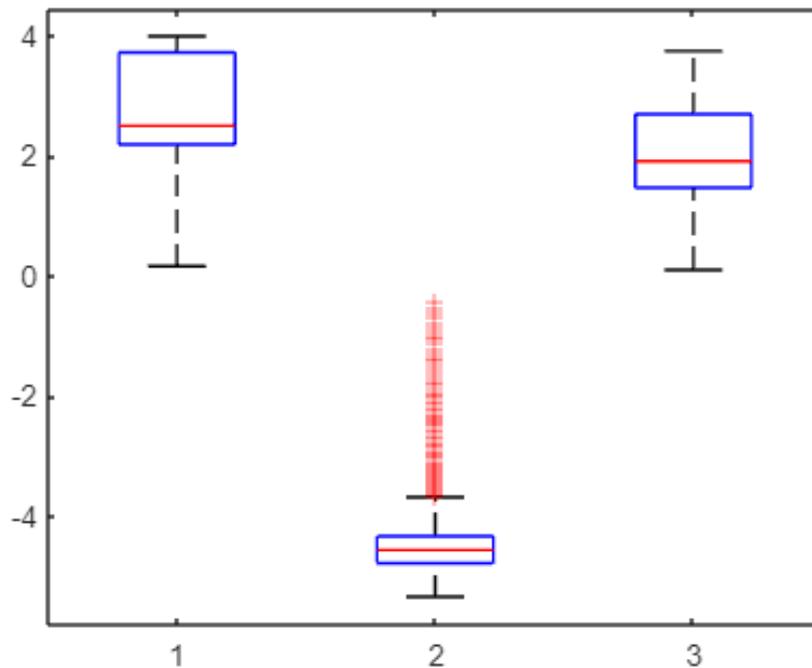


Grafica 16. Gráfica de caja y bigotes de las medidas adquiridas del participante B, en la prueba de escoliosis postural.

En la gráfica número 16 se puede observar el comportamiento de los sensores en el participante B, que al igual que el paciente presenta varios puntos de dispersión, pero con un área aceptable entre

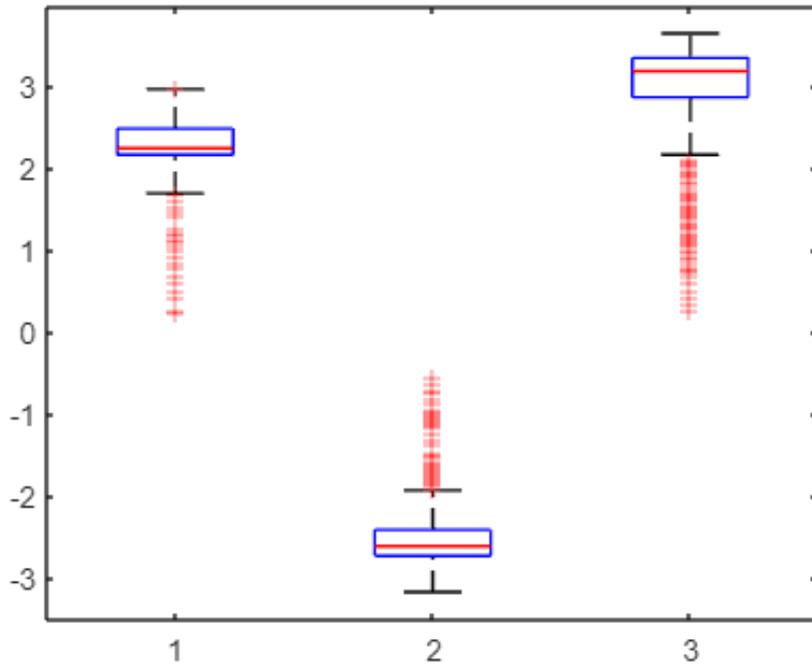
los cuartiles 2 y 3 lo que prospecta un buen nivel de estabilidad en las mediciones obtenidas en cada par.

El par 1, presenta 137 puntos dispersos, seguido por el par 3 con 104 y el par 2 con 65 puntos dispersos, lo que nos da en general un nivel de estabilidad del 89.8%, siendo menor que el del participante A, sin embargo, como se explicó anteriormente, estos puntos pueden deberse a movimientos del paciente o de la examinadora durante las pruebas.



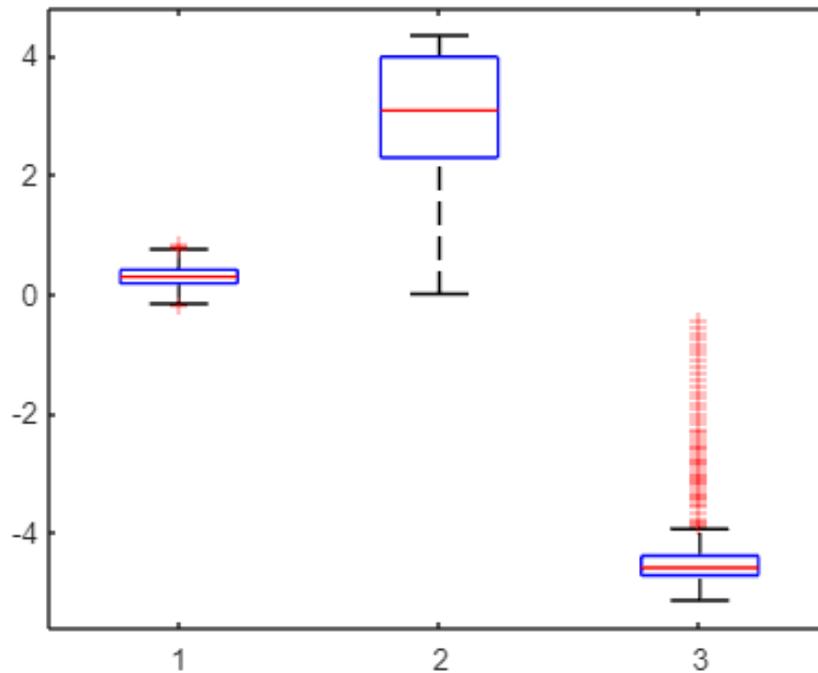
Grafica 17. Gráfica de caja y bigotes de las medidas adquiridas del participante C, en la prueba de escoliosis postural

En el paciente C se muestra solamente puntos dispersos en el par 2 de sensores, siendo 94, pero con un área de dispersión menor a los pares 1 y 3. Debido a la escala de la gráfica y a la falta de puntos dispersos o atípicos, se asume que los sensores presentan una mayor estabilidad en el sujeto C que en los anteriores, con un nivel de 96.8%



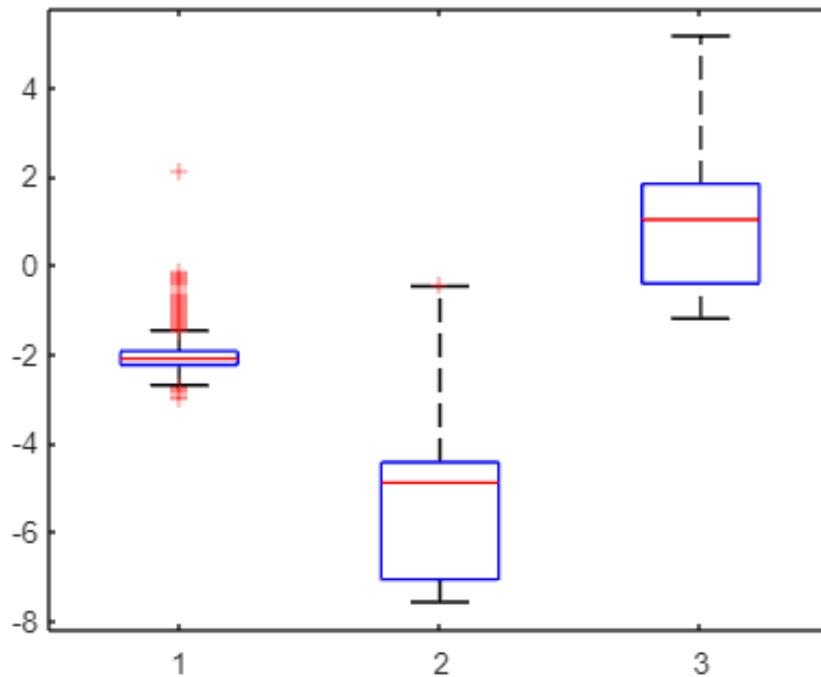
Grafica 18. Gráfica de caja y bigotes de las medidas adquiridas del participante D, en la prueba de escoliosis postural

El sujeto D presenta varios puntos de dispersión en los tres pares de sensores, siendo respectivamente, 44, 209,98, teniendo un nivel de estabilidad del 88.3% y un área aceptable ente los cuartiles 2 y 3.



Grafica 19. Gráfica de caja y bigotes de las medidas adquiridas del participante E, en la prueba de escoliosis postural

En el sujeto F se observan puntos dispersos en el par 1 y 3, que son los que tienen un rango intercuantílico menor, el par 1 con solamente 2 puntos dispersos y el 3 con 60, teniendo un nivel de estabilidad del 97.9%. El participante E presenta un área de dispersión considerablemente mayor en el par 2, lo que se puede deber a una mayor dispersión de los datos, sin embargo, se encuentran dentro de los cuartiles, por los que se pueden asumir como datos estables.

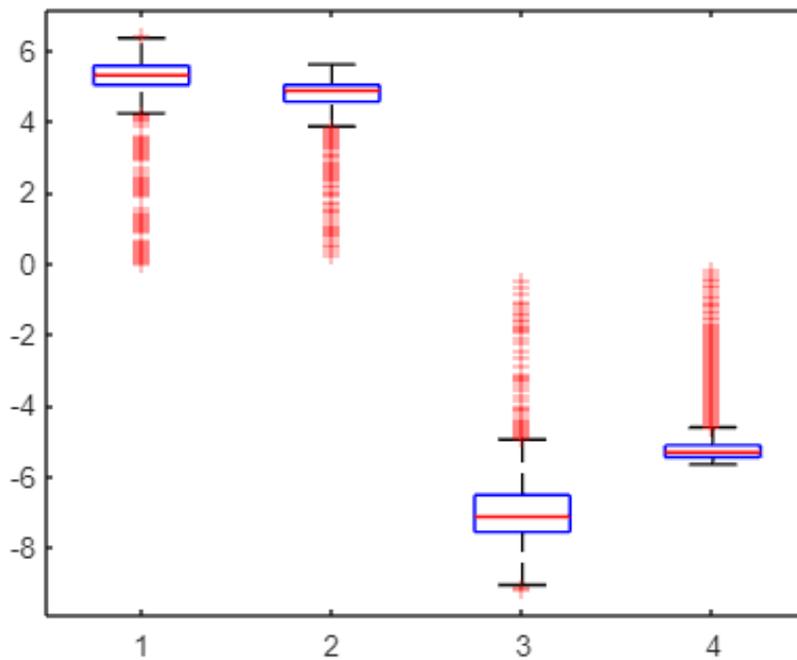


Grafica 19. Gráfica de caja y bigotes de las medidas adquiridas del participante F, en la prueba de escoliosis postural

El sujeto F, fue el que presentó niveles de dispersión más altos dentro de todos los participantes, y puntos “atípicos” en el par 1, siendo un total de 78, utilizando los parámetros descritos anteriormente, estos resultados nos darían un nivel de estabilidad del 97.4%, sin embargo las condiciones del sujeto F son las más atípicas dentro de los voluntarios y no son muy representadas en la literatura, por lo cual estas mediciones, aunque estables, muestran una dispersión elevada a comparación de los otros participantes

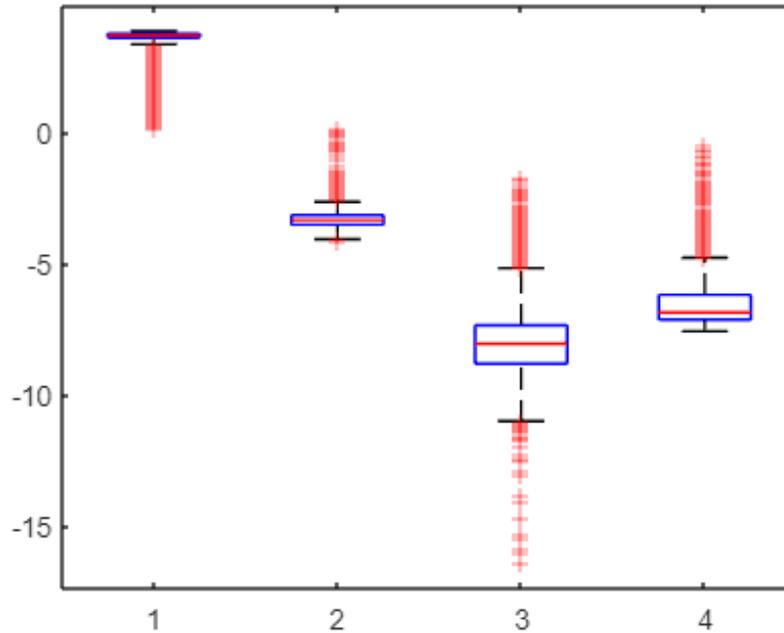
4.4.2 ESCOLIOSIS ESTRUCTURAL

Participante A



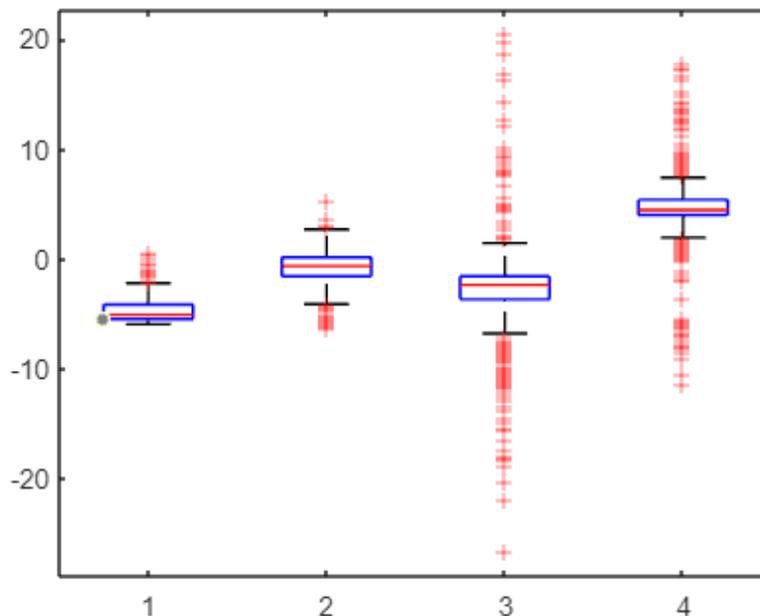
Gráfica 20. Gráfica de caja y bigotes de la prueba de escoliosis estructural en el participante A.

El participante A presenta un área de dispersión relativamente pequeña lo que se podría interpretar como medidas estables de los sensores, sin embargo, presenta varios puntos “atípicos” o fuera del rango intercuantílico, En el sensor 1, 110, sensor 2 77, sensor 3 78 y el ultimo sensor con 103, teniendo el 90.8% de los datos dentro de los rangos de dispersión.



Gráfica 21. Gráfica de caja y bigotes de la prueba de escoliosis estructural en el participante B.

Al igual que en el participante anterior el rango de dispersión es pequeño por lo que se asume buena estabilidad en los sensores, pero las mediciones presentan varios puntos dispersos por sensor; 137, 104, 163 y 65 respectivamente, por lo que el 88.2% de los datos se encuentran dentro del rango intercuantílico, y se asume que el 88.2% de las mediciones presentaron un comportamiento estable.



Gráfica 22. Gráfica de caja y bigotes de la prueba de escoliosis estructural en el participante F.

De acuerdo con los parámetros definidos para esta investigación, el participante F no clasificaba para pasar a la segunda prueba, sin embargo, al ser un caso relevante de triple curvatura, se decidió realizar para tener una confirmación del funcionamiento del dispositivo.

Al igual que en los otros participantes se observan baja dispersión de los datos, pero se presentan varios puntos fuera de los límites intercuantílicos, por sensor los puntos “atípicos” son: 40, 32, 136 y 127 respectivamente, teniendo un 91.6% de datos estables.

5 DISCUSIÓN Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA

Al analizar los resultados en los pacientes en radiografías, pruebas y estadística podemos notar una correlación entre los métodos tradicionales de diagnóstico y en el dispositivo propuesto. aquellos pacientes que se denominaron sanos y aquellos que presentan una condición de escoliosis, ya sea postural o estructural.

Se definió como pacientes con condiciones estructurales aquellos que tuvieron un promedio mayor de 5° en las mediciones con sensores. Ya que se consideraron las curvaturas naturales de la columna, así como que la literatura señala que las curvaturas menores a 10° pueden ser consideradas como normales (Gerendas, 1992).

Tabla 13. Tabla resumen de resultados de la prueba 1 en participantes y dispositivo.

Participante	Diagnóstico	Valores Prueba 1			Curvas		
		Par 1	Par 2	Par 3	Cervical	Dorsal	Lumbar
A	Escoliosis Estructurada	7.76462	-5.61414	-2.21558	No presenta	Derecha	Izquierda
B	Escoliosis Estructurada	3.97511	-5.94807	-2.6324	No presenta	Derecha	Izquierda
C	Escoliosis Postural	3.2874668	-3.925669	2.7368008	No presenta	Izquierda	Derecha
D	Escoliosis Postural	2.73906	-2.01599	3.28284	No presenta	Izquierda	Derecha
E	Sano	0.7439444	3.4580754	-3.9624	No presenta	Derecha	Izquierda
F	Sano	-2.46791	-4.950839	1.4896217	Izquierda	Izquierda	Derecha

Comenzando con los participantes ya diagnosticados con escoliosis ambos obtuvieron un promedio en las medidas más elevadas que 5° en alguno de los pares, siendo el promedio más alto el par donde, gracias a las RX, ya se tenía ubicada la curvatura más acentuada.

En los participantes C y D que presentaron curvaturas de 5° o más, donde el paciente C obtuvo un promedio más alto en el segundo par, consistente con la curvatura observada en su radiografía de 8°. Por otro lado, el sujeto D obtuvo valores similares a lo largo de los 3 pares, lo que refleja las curvaturas de 5° que presenta en el área dorsal y lumbar, afectando a tanto a cadera, escapulas y hombros. Sin embargo, al ser promedios menores a 5, el dispositivo clasifica a ambos sujetos con escoliosis postural con riesgo a estructurarse.

El sujeto E, se clasificó como sano debido a que la única curvatura que muestra es en el área lumbar siendo esta de solamente 4°, que se toma dentro de un rango de normalidad y sin riesgo de estructurar la condición de escoliosis por el momento. El dispositivo mostró un nivel más alto en el área lumbar, lo que coincide con la radiografía y la interpretación dada por el médico.

El sujeto F presentó una condición anormal, a pesar de presentar curvaturas de 5° y 4° solamente el dispositivo mostro un nivel alto en el segundo par, esto puede deberse a que el participante posee 3 curvaturas a lo largo de la columna, en cervicales, dorsales y lumbares, lo que puede provocar un desbalance a lo largo de toda la espalda, viéndose reflejado en los puntos de medición del dispositivo, aun cuando las curvaturas se encuentran, según la literatura, dentro del rango normal y no deberían presentar un riesgo de generar una condición estructurada de escoliosis.

En el análisis de las gráficas de caja y bigotes se notaron puntos dispersos en todas las pruebas, sin embargo estos coincidieron con el par localizado donde se localizaron las curvaturas de cada sujeto, esto puede deberse a que, como se estudia en la literatura, las curvaturas no estructuradas pueden ser corregidas por el paciente a voluntad, pero puede causar cierto nivel de incomodidad, en cambio en las curvaturas estructuradas el participante no puede corregirlas sin sentir dolor o simplemente es incapaz de hacerlo. Tomando este hecho como base se puede inferir que debido al tiempo de medición (de aproximadamente 2 min por participante) el participante intentó mantenerse en una posición ideal, sin embargo, debido a que esta posición no le es natural no la pueden mantener por el tiempo que dura la medición. Este fenómeno se repite a lo largo de todas las pruebas, incluyendo las pruebas de escoliosis estructural.

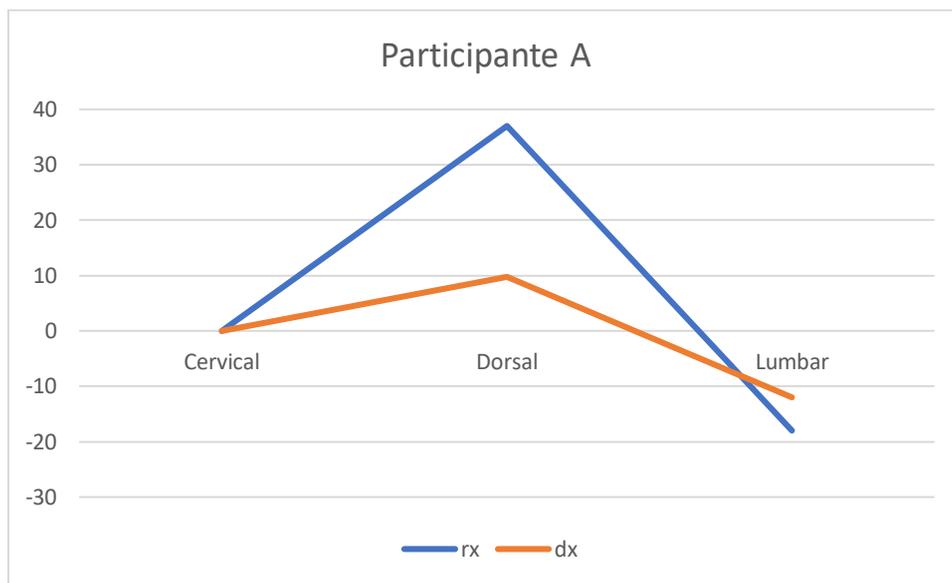
Tabla 14. Tabla resumen de resultados de la prueba 2 en participantes y dispositivos.

Paciente	Diagnostico	Valores Prueba 2				Ángulos por curva		
		Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Cervical	Dorsal	Lumbar
A	Escoliosis Estructurada	5.0766967	4.6803203	-6.912112	-5.088378	No presenta	37°	18°
B	Escoliosis Estructurada	3.97511	-2.6324	-7.73363	-5.94807	No presenta	4°	12°
F	Sano	-4.65412	-0.90364	-2.81053	4.72272	4°	5°	5°

Tabla 15. Relación entre resultados de rx y del dispositivo, mostrando el error por curva.

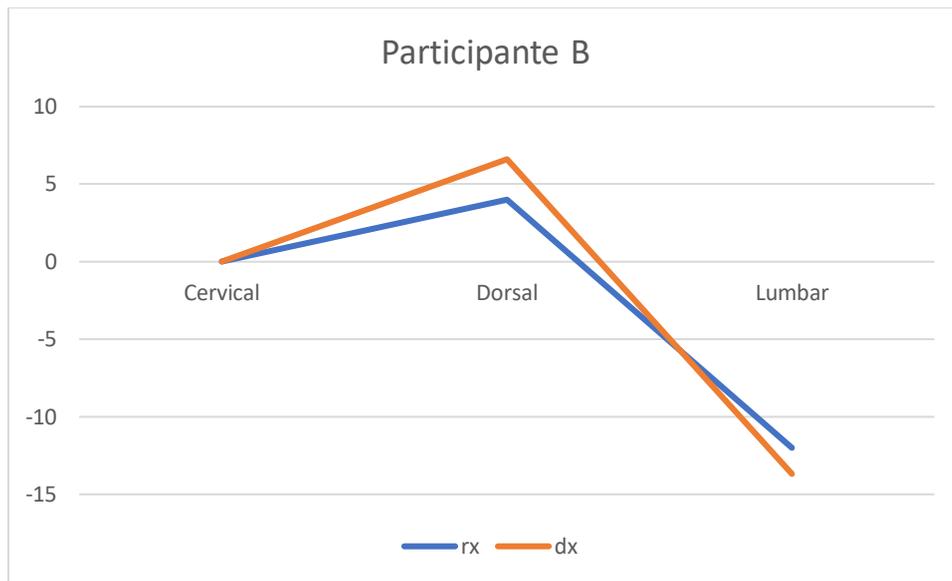
Participante	Curva Cervical			Curva Dorsal			Curva Lumbar		
	RX	Dispositivo	Error	RX	Dispositivo	Error	RX	Dispositivo	Error
A	0	0	0	37	9.757017	27.242983	-18	-12.00049	-5.99951
B	0	0	0	4	6.60751	-2.60751	-12	-13.6817	1.6817
F	-4	-4.65412	0.65412	5	-3.71417	1.28583	5	4.72272	0.27728

En la realización de la medición con el dispositivo estructural se presentaron varios desafíos, el diseño se pensó en un inicio para ser personalizado al largo de la espalda de cada participante, no obstante, el sujeto A presenta una columna acortada debido a la prótesis y la lesión previamente descritas, lo que complico la medición de la columna, aun cuando el dispositivo arrojó valores altos en las áreas donde se localizan las curvas, no se puede asegurar que los sensores fueron correctamente colocados. Ya que el dispositivo mostró valores no relacionados con los ángulos de Cobb previamente calculados.



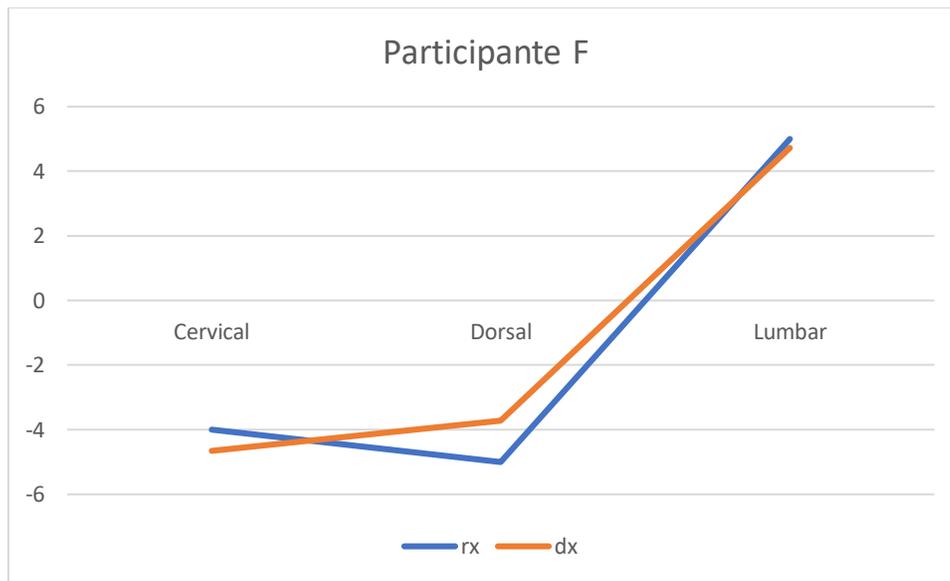
Gráfica 23. Gráfica que muestra la diferencia entre los resultados arrojados por el Dispositivo (dx) vs Radiografías(rx) en participante A

En el participante B, por contraparte, los sensores fueron correctamente colocados y se obtuvo un valor muy cercano al valor del ángulo de Cobb presentado en el área dorsal de 12° , el dispositivo obtuvo una medición en el área dorsal hacia la lumbar de -13.67° , es decir hacia la izquierda, lo cual se acerca al valor adquirido con los ángulos de Cobb con un error de 1.67° , lo que se traduce como un nivel de exactitud del 86.08%.



Gráfica 24. Gráfica que muestra la diferencia entre los resultados arrojados por el Dispositivo (dx) vs Radiografías (rx) en participante B

El sujeto F, considerado como sano, también presentó mediciones similares al ángulo de Cobb calculado en las radiografías, siendo la del área cervical la más cercana con una medición promedio de -4.65° contra la curvatura observada en la rx hacia la izquierda de 4° , es decir el dispositivo mostró un error de -0.65° , en el área dorsal, aun cuando el dispositivo mostró adecuadamente la dirección de la curvatura, el error fue más significativo, donde el dispositivo mostró un valor promedio de -3.71° esta -1.29° del valor calculado por el método de Cobb. Pasando al área lumbar, el dispositivo mostró un valor positivo, refiriéndose a una curva a la derecha de un valor promedio de 4.72° contra el valor real obtenido por Cobb de 5° , teniendo una diferencia de solamente 0.28° . Estos valores en conjunto aportan un nivel de exactitud 84.03% .



Gráfica 25. Gráfica que muestra la diferencia entre los resultados arrojados por el Dispositivo (dx) vs Radiografías (rx) en participante B

Es importante recalcar que este prototipo solo mide la curvatura presentada lateralmente en la columna, no es capaz de medir algún tipo de rotación o pronación en el sujeto, condiciones observadas por ejemplo en el participante A. Si bien este método de diagnóstico es menos invasivo, el uso de perillas precordiales puede causar marcas y molestias en la piel de los participantes.

Debido a la condición sanitaria en el país y en el mundo derivada de la pandemia COVID-19, las pruebas fueron retrasadas y finalmente por esta razón y falta de recursos el grupo de voluntarios se vio drásticamente reducido a solamente 6 participantes. Aun cuando el dispositivo muestra valores adecuados para la detección de escoliosis postural y un valor adecuado al momento de calcular la curvatura en la escoliosis estructural, es osado decir que las pruebas obtenidas en esta investigación son suficientes para validar esta nueva herramienta, sin embargo, esta investigación puede servir de base para futuras investigaciones en la utilización de sensores de posicionamiento para la detección de, no solo escoliosis, si no, otras condiciones ortopédicas de los pacientes.

6 CONCLUSIONES

En el desarrollo de esta investigación se tomó en cuenta la literatura, así como la expertise y comentarios de fisioterapeutas. La columna vertebral, de forma natural posee curvaturas que ayudan a que la postura y a que el movimiento natural se realice sin ningún tipo de inconvenientes para el sujeto.

El objetivo principal de esta tesis es brindar una herramienta que ayude a la detección de la condición escoliótica sin necesidad de realizar radiografías, reduciendo así el nivel de radiación al que se somete a los pacientes. Además de ofrecer un dispositivo funcional y reproducible al alcance de la comunidad universitaria.

El prototipo muestra buenos resultados respecto a la muestra que se analizó, sin embargo, se requieren más pruebas y participantes con condiciones similares para poder validar el dispositivo con un buen nivel de confianza. Sin embargo, debido a las condiciones en las que esta tesis fue realizada, los resultados obtenidos no son lo suficientes para afirmar el correcto funcionamiento del prototipo, pero con los valores que se obtuvieron se puede inferir que con más participantes y más pruebas los resultados serán similares.

Los valores obtenidos con los sensores se presentaron de manera uniforme a lo largo de las pruebas, incluyendo esos puntos dispersos que se presentaron en mayor cantidad donde se encontraban las curvas en la columna de los participantes, Además de que las mediciones se pueden ver afectadas fácilmente por situaciones externas al dispositivo, ya sea por mala colocación de los sensores o movimientos involuntarios de los sujetos.

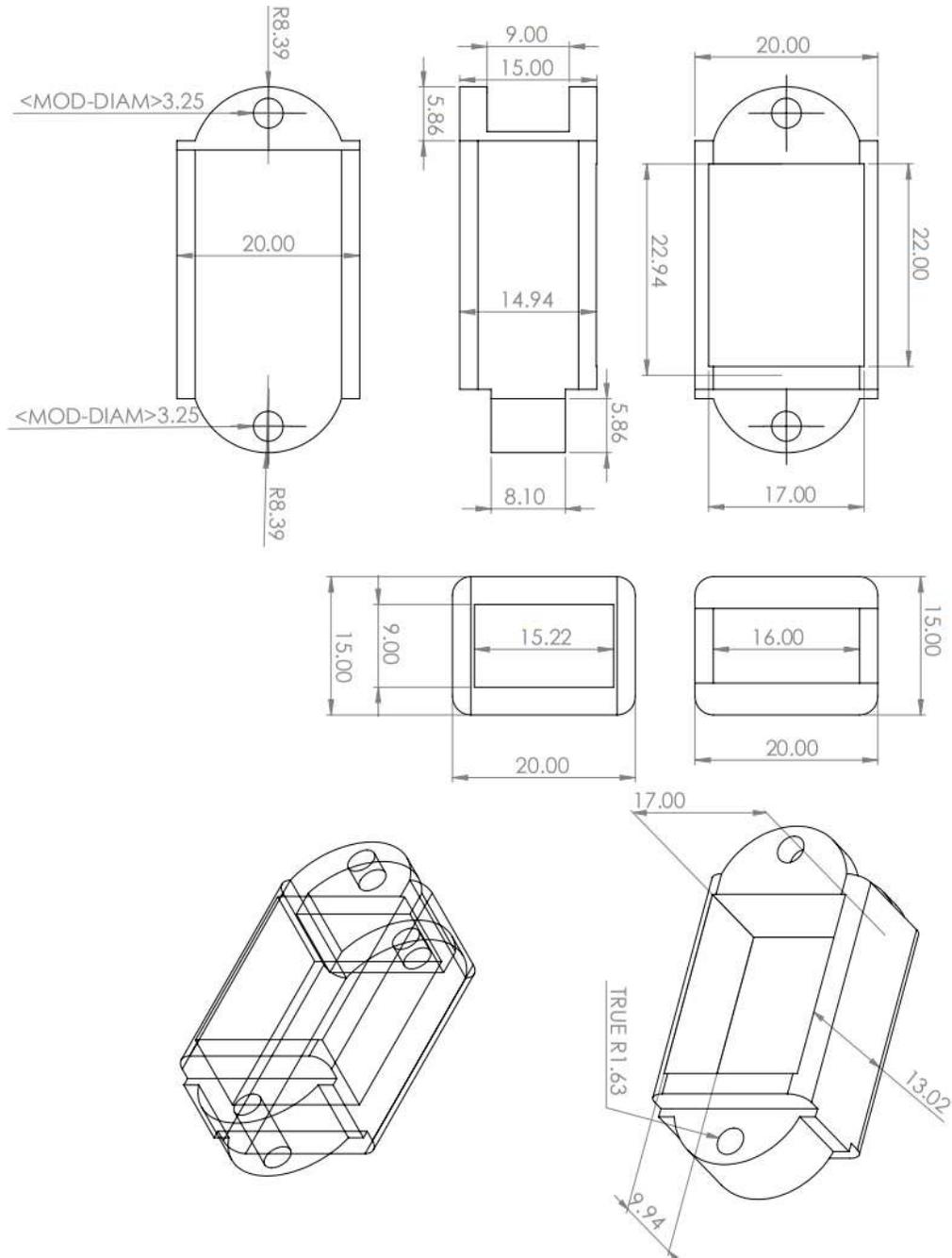
Es importante realizar más pruebas y contar con más referencias para poder validar este prototipo, pero los datos obtenidos en la realización de esta tesis, prometen buenos resultados para investigaciones futuras utilizando este tipo de sensores.

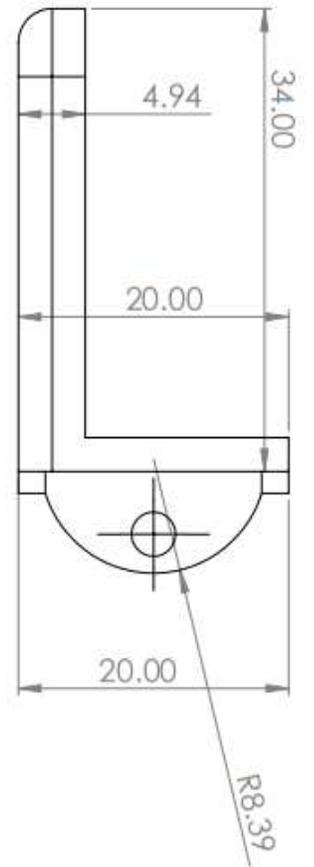
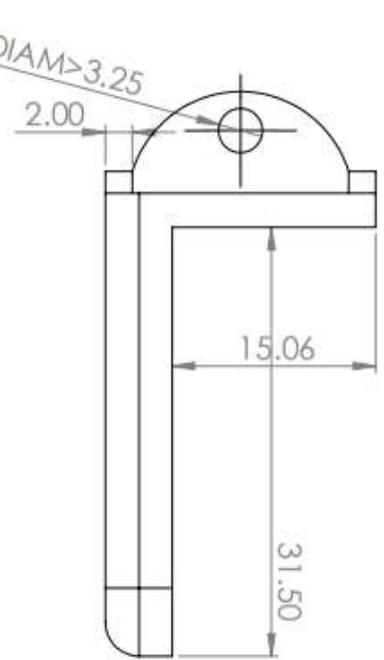
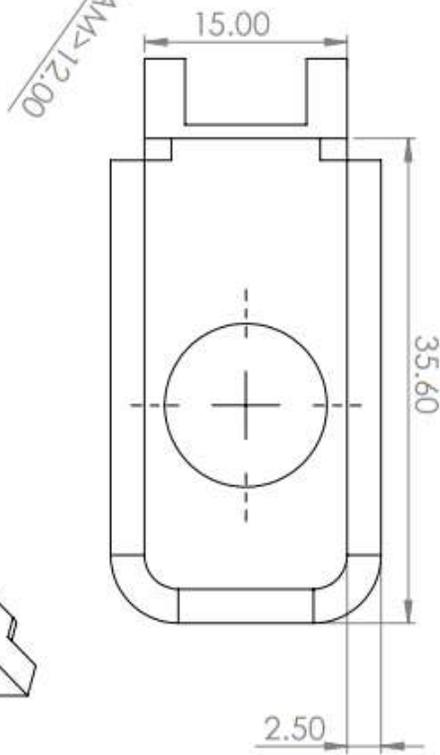
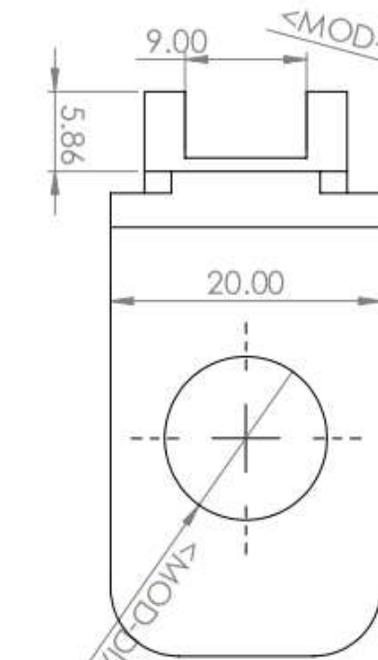
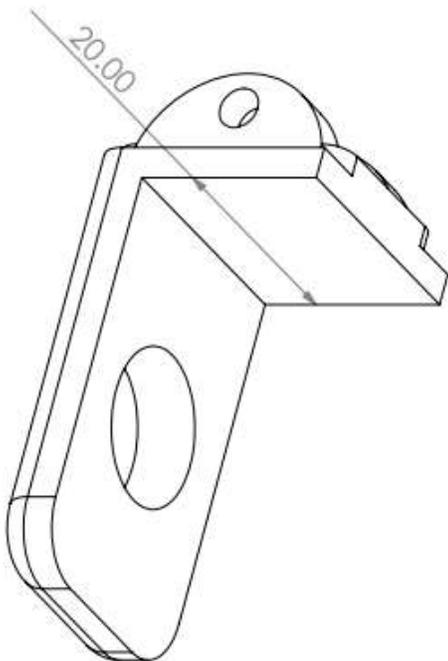
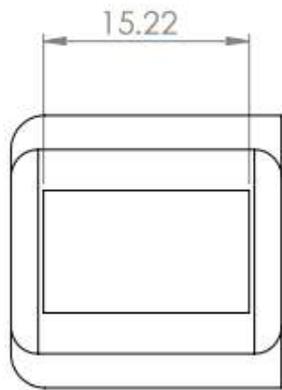
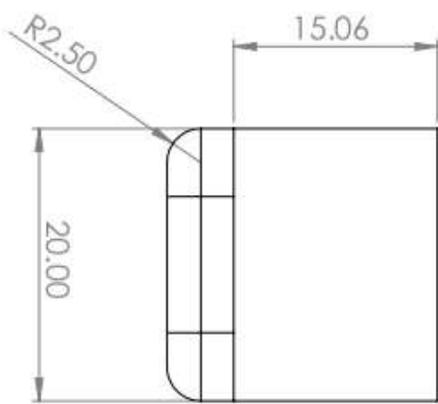
7 ANEXOS

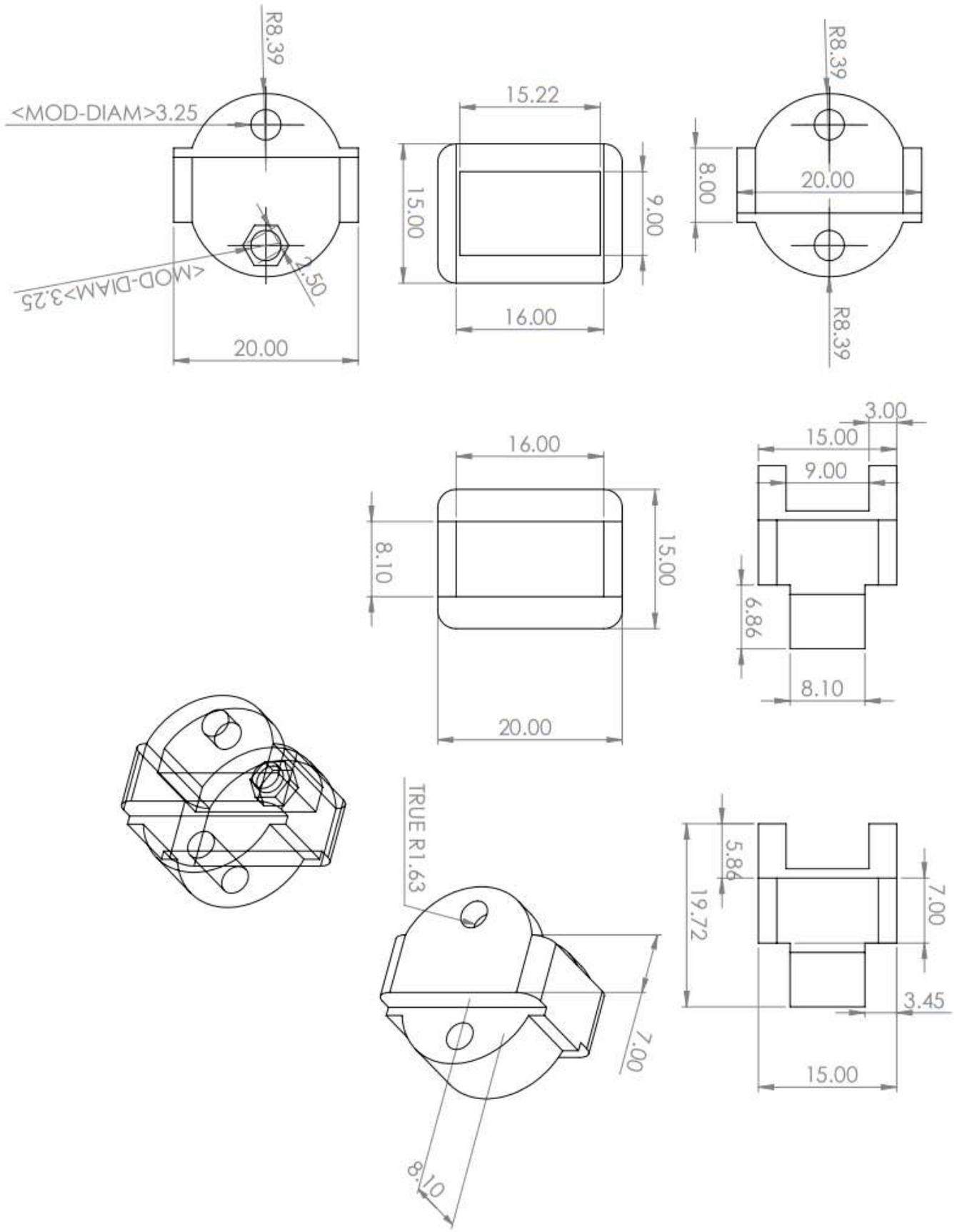
ANEXO 1

PLANOS DEL DISEÑO DEL DISPOSITIVO

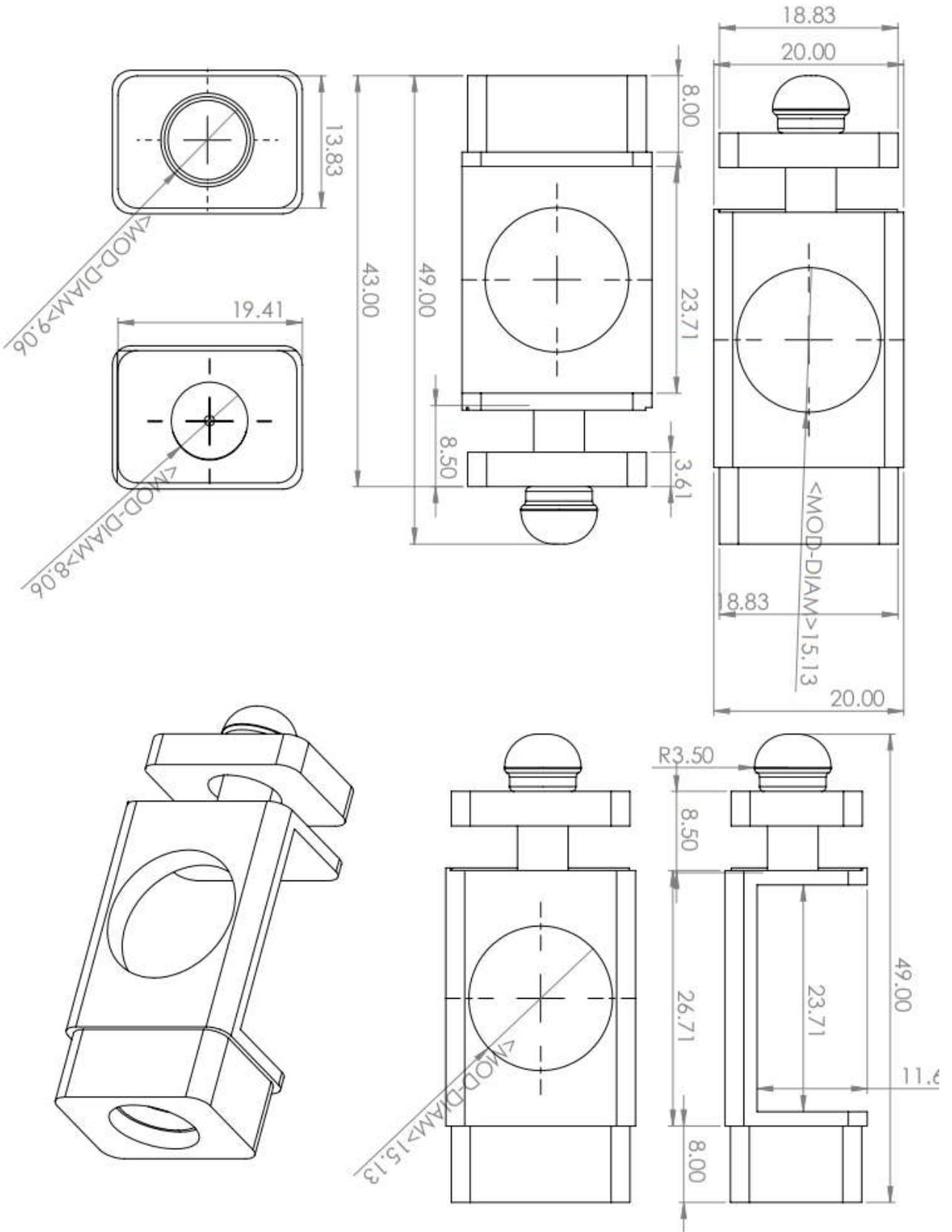
DISPOSITIVO PARA ESCOLIOSIS POSTURAL







DISPOSITIVO PARA ESCOLIOSIS ESTRUCTURAL



ANEXO 2

PROGRAMAS MATLAB

DE TECCIÓN ESCOLIOSIS POSTURAL

```
#include <I2Cdev.h>
#include <MPU6050.h>
#if I2CDEV_IMPLEMENTATION == I2CDEV_ARDUINO_WIRE
#include "Wire.h"
#endif
MPU6050 s0(0x68);
MPU6050 s1(0x68);
MPU6050 s2(0x68);

int16_t x0, y0, z0, x1, y1, z1, x2, y2, z2 ;
int16_t gx0, gy0, gz0, gx1, gy1, gz1, gx2, gy2, gz2;

#define OUTPUT_READABLE_ACCELGYRO
int i=0;
int led = 3;
//Mux control pins
int p0 = 7;
int p1 = 6;
int p2 = 5;
long tp0;
long tp1;
long tp2;

float t0,t1,t2;
float ax0, ay0,ax1, ay1,ax2, ay2;
float axp0, ayp0,axp1, ayp1,axp2, ayp2;
int pin= 0;
const int MPU=0x68;
void setup() {
pinMode(led, OUTPUT);
pinMode(p0, OUTPUT);
pinMode(p1, OUTPUT);
pinMode(p2, OUTPUT);
#if I2CDEV_IMPLEMENTATION == I2CDEV_ARDUINO_WIRE
Wire.begin();
#elif I2CDEV_IMPLEMENTATION == I2CDEV_BUILTIN_FASTWIRE
Fastwire::setup(400, true);
#endif
Serial.begin(9600);
digitalWrite(p0, LOW);
digitalWrite(p1, LOW);
digitalWrite(p2, LOW );
delay(5);
Wire.begin();
Wire.beginTransmission(MPU);
Wire.write(0x6B);
Wire.write(0);
Wire.endTransmission(true);
delay(15);
s0.initialize();
delay(5);
```

```

digitalWrite(p0, HIGH);
digitalWrite(p1, LOW);
digitalWrite(p2, LOW);
delay(5);
Wire.begin();
Wire.beginTransmission(MPU);
Wire.write(0x6B);
Wire.write(0);
Wire.endTransmission(true);
delay(15);
s1.initialize();
delay(5);
digitalWrite(p0, LOW);
digitalWrite(p1, HIGH);
digitalWrite(p2, LOW);
delay(5);
Wire.begin();
Wire.beginTransmission(MPU);
Wire.write(0x6B);
Wire.write(0);
Wire.endTransmission(true);
delay(15);
s2.initialize();
delay(5);
digitalWrite(p0, LOW);
digitalWrite(p1, LOW);
digitalWrite(p2, HIGH);
delay(5);
Wire.begin();
Wire.beginTransmission(MPU);
Wire.write(0x6B);
Wire.write(0);
Wire.endTransmission(true);
delay(15);
}

void loop() {
    digitalWrite(p0, LOW);
    digitalWrite(p1, LOW);
    digitalWrite(p2, LOW);
    delay(5);
    s0.getAcceleration(&x0, &y0, &z0);
    s0.getRotation(&gx0, &gy0, &gz0);
    t0 = (millis()-tp0)/1000.0;
    tp0=millis();
    float cax0=atan(y0/sqrt(pow(x0,2) + pow(z0,2)));
    float cay0=atan(-x0/sqrt(pow(y0,2) + pow(z0,2)));
    cax0= cax0*(180.0/3.14);
    cay0=cay0*(180.0/3.14);
    x0 = 0.98*(axp0+(gx0/131)*t0) + 0.02*cax0;
    y0 = 0.98*(ayp0+(gy0/131)*t0) + 0.02*cay0;
    axp0=x0;
    ayp0=y0;
    Serial.print(x0);
    Serial.print(",");
    Serial.print(y0);
    Serial.print(",");
}

```

```

    delay(5);
digitalWrite(p0, HIGH);
digitalWrite(p1, LOW);
digitalWrite(p2, LOW);
delay(5);
s1.getAcceleration(&x1, &y1, &z1);
s1.getRotation(&gx1, &gy1, &gz1);
t1 = (millis()-tp1)/1000.0;
tp1=millis();
float cax1=atan(y1/sqrt(pow(x1,2) + pow(z1,2)));
float cay1=atan(-x1/sqrt(pow(y1,2) + pow(z1,2)));
cax1= cax1*(180.0/3.14);
cay1=cay1*(180.0/3.14);
x1 = 0.98*(axp1+(gx1/131)*t1) + 0.02*cax1;
y1 = 0.98*(ayp1+(gy1/131)*t1) + 0.02*cay1;
axp1=x1;
ayp1=y1;
Serial.print(x1);
Serial.print(",");
Serial.print(y1);
Serial.print(",");
delay(5);
digitalWrite(p0, LOW);
digitalWrite(p1, HIGH);
digitalWrite(p2, LOW);
delay(5);
s2.getAcceleration(&x2, &y2, &z2);
s2.getRotation(&gx2, &gy2, &gz2);
t2 = (millis()-tp2)/1000.0;
tp2=millis();
float cax2=atan(y2/sqrt(pow(x2,2) + pow(z2,2)));
float cay2=atan(-x2/sqrt(pow(y2,2) + pow(z2,2)));
cax2= cax2*(180.0/3.14);
cay2=cay2*(180.0/3.14);
x2 = 0.98*(axp2+(gx2/131)*t2) + 0.02*cax2;
y2 = 0.98*(ayp2+(gy2/131)*t2) + 0.02*cay2;
axp2=x2;
ayp2=y2;
Serial.print(x2);
Serial.print(",");
Serial.print(y2);
Serial.print(",");
delay(5);

if(i==250||i==750){
    digitalWrite(led, HIGH);
} else{
    digitalWrite(led, LOW);
}
}

```

DETECCIÓN ESCOLIOSIS ESTRUCTURAL

```
#include <I2Cdev.h>
#include <MPU6050.h>
#ifdef I2CDEV_IMPLEMENTATION == I2CDEV_ARDUINO_WIRE
#include "Wire.h"
#endif
MPU6050 s0(0x68);
MPU6050 s1(0x68);
MPU6050 s2(0x68);
MPU6050 s3(0x68);
MPU6050 s4(0x68);
MPU6050 s5(0x68);

int16_t x0, y0, z0, x1, y1, z1, x2, y2, z2, x3, y3, z3, x4, y4, z4, x5,
y5, z5;
int16_t gx0, gy0, gz0, gx1, gy1, gz1, gx2, gy2, gz2, gx3, gy3, gz3, gx4,
gy4, gz4, gx5, gy5, gz5;

#define OUTPUT_READABLE_ACCELYGYRO
int i=0;
int led = 3;
//Mux control pins
int p0 = 7;
int p1 = 6;
int p2 = 5;
long tp0;
long tp1;
long tp2;
long tp3;
long tp4;
long tp5;
float t0,t1,t2,t3,t4,t5;
float ax0, ay0,ax1, ay1,ax2, ay2,ax3, ay3,ax4, ay4,ax5, ay5;
float axp0, ayp0,axp1, ayp1,axp2, ayp2,axp3, ayp3,axp4, ayp4,axp5, ayp5;
int pin= 0;
const int MPU=0x68;
void setup() {
pinMode(led, OUTPUT);
pinMode(p0, OUTPUT);
pinMode(p1, OUTPUT);
pinMode(p2, OUTPUT);
#ifdef I2CDEV_IMPLEMENTATION == I2CDEV_ARDUINO_WIRE
Wire.begin();
#elif I2CDEV_IMPLEMENTATION == I2CDEV_BUILTIN_FASTWIRE
Fastwire::setup(400, true);
#endif
Serial.begin(9600);
digitalWrite(p0, LOW);
digitalWrite(p1, LOW);
digitalWrite(p2, LOW );
delay(5);
Wire.begin();
Wire.beginTransmission(MPU);
Wire.write(0x6B);
Wire.write(0);
Wire.endTransmission(true);
delay(15);
```

```

s0.initialize();
delay(5);
digitalWrite(p0, HIGH);
digitalWrite(p1, LOW);
digitalWrite(p2, LOW);
delay(5);
Wire.begin();
Wire.beginTransmission(MPU);
Wire.write(0x6B);
Wire.write(0);
Wire.endTransmission(true);
delay(15);
s1.initialize();
delay(5);
digitalWrite(p0, LOW);
digitalWrite(p1, HIGH);
digitalWrite(p2, LOW);
delay(5);
Wire.begin();
Wire.beginTransmission(MPU);
Wire.write(0x6B);
Wire.write(0);
Wire.endTransmission(true);
delay(15);
s2.initialize();
delay(5);
digitalWrite(p0, LOW);
digitalWrite(p1, LOW);
digitalWrite(p2, HIGH);
delay(5);
Wire.begin();
Wire.beginTransmission(MPU);
Wire.write(0x6B);
Wire.write(0);
Wire.endTransmission(true);
delay(15);
s3.initialize();
delay(5);
digitalWrite(p0, HIGH);
digitalWrite(p1, LOW);
digitalWrite(p2, HIGH);
delay(5);
Wire.begin();
Wire.beginTransmission(MPU);
Wire.write(0x6B);
Wire.write(0);
Wire.endTransmission(true);
delay(15);
s4.initialize();
delay(5);
digitalWrite(p0, HIGH);
digitalWrite(p1, HIGH);
digitalWrite(p2, HIGH);
delay(5);
Wire.begin();
Wire.beginTransmission(MPU);
Wire.write(0x6B);
Wire.write(0);
Wire.endTransmission(true);

```

```

delay(15);
s5.initialize();
delay(5);
}

void loop() {

    digitalWrite(p0, LOW);
    digitalWrite(p1, LOW);
    digitalWrite(p2, LOW);
    delay(5);
    s0.getAcceleration(&x0, &y0, &z0);
    s0.getRotation(&gx0, &gy0, &gz0);
    t0 = (millis()-tp0)/1000.0;
    tp0=millis();
    float cax0=atan(y0/sqrt(pow(x0,2) + pow(z0,2)));
    float cay0=atan(-x0/sqrt(pow(y0,2) + pow(z0,2)));
    cax0= cax0*(180.0/3.14);
    cay0=cay0*(180.0/3.14);
    x0 = 0.98*(axp0+(gx0/131)*t0) + 0.02*cax0;
    y0 = 0.98*(ayp0+(gy0/131)*t0) + 0.02*cay0;
    axp0=x0;
    ayp0=y0;
    Serial.print(x0);
    Serial.print(",");
    Serial.print(y0);
    Serial.print(",");
    delay(5);
    digitalWrite(p0, HIGH);
    digitalWrite(p1, LOW);
    digitalWrite(p2, LOW);
    delay(5);
    s1.getAcceleration(&x1, &y1, &z1);
    s1.getRotation(&gx1, &gy1, &gz1);
    t1 = (millis()-tp1)/1000.0;
    tp1=millis();
    float cax1=atan(y1/sqrt(pow(x1,2) + pow(z1,2)));
    float cay1=atan(-x1/sqrt(pow(y1,2) + pow(z1,2)));
    cax1= cax1*(180.0/3.14);
    cay1=cay1*(180.0/3.14);
    x1 = 0.98*(axp1+(gx1/131)*t1) + 0.02*cax1;
    y1 = 0.98*(ayp1+(gy1/131)*t1) + 0.02*cay1;
    axp1=x1;
    ayp1=y1;
    Serial.print(x1);
    Serial.print(",");
    Serial.print(y1);
    Serial.print(",");
    delay(5);
    digitalWrite(p0, LOW);
    digitalWrite(p1, HIGH);
    digitalWrite(p2, LOW);
    delay(5);
    s2.getAcceleration(&x2, &y2, &z2);
    s2.getRotation(&gx2, &gy2, &gz2);
    t2 = (millis()-tp2)/1000.0;
    tp2=millis();
    float cax2=atan(y2/sqrt(pow(x2,2) + pow(z2,2)));
    float cay2=atan(-x2/sqrt(pow(y2,2) + pow(z2,2)));

```

```

cax2= cax2*(180.0/3.14);
cay2=cay2*(180.0/3.14);
  x2 = 0.98*(axp2+(gx2/131)*t2) + 0.02*cax2;
  y2 = 0.98*(ayp2+(gy2/131)*t2) + 0.02*cay2;
  axp2=x2;
  ayp2=y2;
Serial.print(x2);
Serial.print(",");
Serial.print(y2);
  Serial.print(",");
  delay(5);

      digitalWrite(p0, LOW);
digitalWrite(p1, LOW);
digitalWrite(p2, HIGH);
delay(5);
s3.getAcceleration(&x3, &y3, &z3);
s3.getRotation(&gx3, &gy3, &gz3);
  t3 = (millis()-tp3)/1000.0;
  tp3=millis();
  float cax3=atan(y3/sqrt(pow(x3,2) + pow(z3,2)));
  float cay3=atan(-x3/sqrt(pow(y3,2) + pow(z3,2)));
  cax3= cax0*(180.0/3.14);
  cay3=cay0*(180.0/3.14);
  x3 = 0.98*(axp3+(gx3/131)*t3) + 0.02*cax3;
  y3 = 0.98*(ayp3+(gy3/131)*t3) + 0.02*cay3;
  axp3=x3;
  ayp3=y3;
Serial.print(x3);
Serial.print(",");
Serial.print(y3);
  Serial.print(",");
  delay(5);

digitalWrite(p0, HIGH);
digitalWrite(p1, LOW);
digitalWrite(p2, HIGH);
delay(5);
s4.getAcceleration(&x4, &y4, &z4);
s4.getRotation(&gx4, &gy4, &gz4);
  t4 = (millis()-tp4)/1000.0;
  tp4=millis();
  float cax4=atan(y4/sqrt(pow(x4,2) + pow(z4,2)));
  float cay4=atan(-x4/sqrt(pow(y4,2) + pow(z4,2)));
  cax4= cax4*(180.0/3.14);
  cay4=cay4*(180.0/3.14);
  x4 = 0.98*(axp4+(gx4/131)*t4) + 0.02*cax4;
  y4 = 0.98*(ayp4+(gy4/131)*t4) + 0.02*cay4;
  axp4=x4;
  ayp4=y4;
Serial.print(x4);
Serial.print(",");
Serial.print(y4);
  Serial.print(",");
  delay(5);

digitalWrite(p0, HIGH);

```

```

digitalWrite(p1, HIGH);
digitalWrite(p2, HIGH);
delay(5);
s5.getAcceleration(&x5, &y5, &z5);
s5.getRotation(&gx5, &gy5, &gz5);
t5 = (millis()-tp5)/1000.0;
tp5=millis();
float cax5=atan(y5/sqrt(pow(x5,2) + pow(z5,2)));
float cay5=atan(-x5/sqrt(pow(y5,2) + pow(z5,2)));
cax5= cax5*(180.0/3.14);
cay5=cay5*(180.0/3.14);
x5 = 0.98*(axp5+(gx5/131)*t5) + 0.02*cax5;
y5 = 0.98*(ayp5+(gy5/131)*t5) + 0.02*cay5;
axp5=x5;
ayp5=y5;
Serial.print(x5);
Serial.print(",");
Serial.print(y5);
Serial.print(",");
delay(5);

if(i==250||i==750){
    digitalWrite(led, HIGH);
} else{
    digitalWrite(led, LOW);
}
}

```

FILTRADO Y MEDIDA

```
clear all; close all; clc;
ax1=zeros(1000,1);
ay1=zeros(1000,1);
ax2=zeros(1000,1);
ay2=zeros(1000,1);
ax3=zeros(1000,1);
ay3=zeros(1000,1);

m=1000;
fprintf('Inicializacio del programa \n');
fprintf('Inicio de medicion\n');
%%%%%%%%% Comunicacion con arduino
delete(instrfind({'Port'},{'COM5'}));
s = serial('COM5','BaudRate',9600,'Terminator','CR/LF');
warning('off','MATLAB:serial:fscanf:unsuccessfulread');
fopen(s);
muestra=1;
E = input('Introduce nombre del paciente: ','s');
fprintf(E);
%%%%%%%%%muestro con arduino
while muestra<=m
a = fscanf(s,'%f,%f,%f,%f,%f,%f');
ax1(muestra,1)=a(1);
ay1(muestra,1)=a(2);
ax2(muestra,1)=a(3);
ay2(muestra,1)=a(4);
ax3(muestra,1)=a(5);
ay3(muestra,1)=a(6);
muestra=muestra+1;
end
%%%%%%%%creacion de documeto excel
xlswrite(E,ax1,'Prueba','A1');
xlswrite(E,ay1,'Prueba','B1');
xlswrite(E,ax2,'Prueba','C1');
xlswrite(E,ay2,'Prueba','D1');
xlswrite(E,ax3,'Prueba','E1');
xlswrite(E,ay3,'Prueba','F1');

%%%%%%%%filtrado uno
for j=1:m
if(j >400)
fill(j-400,1)=ax1(j,1);
fill(j-400,2)=ay1(j,1);
fill(j-400,3)=ax2(j,1);
fill(j-400,4)=ay2(j,1);
fill(j-400,5)=ax3(j,1);
fill(j-400,6)=ay3(j,1);
end
end

%%%%%%%%filtrado dos
k=1;

for j=1:6
for i=1:400
```

```

        if (fill1(i,j)>-360)&&(fill1(i,j)<360)
            fil2(k,j)= fill1(i,j);
            k=k+1;
        end
    end
end
end

%%%%%promedio
prom=mean(fil2);
xlswrite(E,prom,'Promedio','A1');

%%%%%clasificacion
t= length(prom);
for i=1:t
    if (prom(1,i)<= 5)
        if(i==1)|| (i==2)
            fprintf('Pacientes "sanos", curvaturas menores o iguales a
5°\n');
            fprintf('Sensor 1\n');
        elseif(i==3)|| (i==4)
            fprintf('Pacientes "sanos", curvaturas menores o iguales a
5°\n');
            fprintf('Sensor 2\n');
        elseif(i==5)|| (i==6)
            fprintf('Pacientes "sanos", curvaturas menores o iguales a
5°\n');
            fprintf('Sensor 2\n');
        end

        elseif(prom(1,i)> 5)&&(prom(1,i)<=10)

            if(i==1)|| (i==2)
                fprintf('Diagnostico escoliosis postural con riesgo a
estructurarse. \n');
                fprintf('Sensor 1\n');
            elseif(i==3)|| (i==4)
                fprintf('Diagnostico escoliosis postural con riesgo a
estructurarse. \n');
                fprintf('Sensor 2\n');
            elseif(i==5)|| (i==6)
                fprintf('Diagnostico escoliosis postural con riesgo a
estructurarse. \n');
                fprintf('Sensor 3\n');
            end

            elseif(prom(1,i)>10)

                if(i==1)|| (i==2)
                    fprintf('Diagnostico positivo de escoliosis estructurada.\n');
                    fprintf('Sensor 1\n');
                elseif(i==3)|| (i==4)
                    fprintf('Diagnostico positivo de escoliosis estructurada.\n');
                    fprintf('Sensor 2\n');
                elseif(i==5)|| (i==6)
                    fprintf('Diagnostico positivo de escoliosis estructurada.\n');
                    fprintf('Sensor 3\n');
                end
            end
        end
    end
end
end

```

ANEXO 3

Problemas de espalda en la comunidad estudiantil de la Universidad Autónoma de Querétaro

Las respuestas obtenidas de este formulario se utilizarán en el proyecto de tesis denominado "DISEÑO DE HERRAMIENTA PARA EL DIAGNÓSTICO DE ESCOLIOSIS UTILIZANDO SENSORES DE POSICIÓN" con el objetivo de conocer los padecimientos (o la ausencia de ellos) de la espalda, y los hábitos posturales de la comunidad.

*Obligatorio

Edad *

Sexo *

- Mujer
- Hombre
- Prefiero no decirlo

¿A qué campus perteneces? *

- Aeropuerto
- Centro
- San Juan del Río
- Juriquilla
- Otros:

¿Sufres de dolor de espalda? *

- Sí
- No
- Algunas veces

¿Qué tan común es tu dolor de espalda? *

- Regularmente
- Algunas veces a la semana

- No tengo dolor de espalda

¿En dónde se localiza tu dolor de espalda? *

- Área cervical
- Área dorsal
- Área lumbar
- No tengo molestias en la espalda

¿Padeces alguna lesión en la espalda? *

- si
- no

Si tu respuesta fue positiva ¿Qué lesión o molestia tienes?



¿Qué tan seguido realizas actividad física? *

- 3 veces a la semana
- Toda la semana
- 1 o 2 veces a la semana
- No realizo actividad física

¿Cuánto tiempo pasas sentada/o? *

- 0-3 hrs
- 3-6 hrs
- Más de 6 horas

¿Cuánto tiempo pasas de pie? *

- 0-3 hrs
- 3-6 hrs
- Más de 6 horas

¿Cuántas horas pasas trabajando frente a la computadora? *

- 0-3 hrs
- 3-6 hrs
- Más de 6 horas

¿Consideras que tienes una buena postura? *

- Sí
- No
- No estoy segura/a

¿Crees que la contingencia ha modificado tus hábitos posturales? *

- Sí
- No
- No estoy segura/o

Si tu respuesta fue positiva, ¿A que crees que se deba?

Tu respuesta



¿Cada cuanto visitas a tu fisioterapeuta? *

- Chequeo de rutina
- Cuando estoy lesionado y/o con dolor
- Nunca

ANEXO 4

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Consentimiento informado para la participación en las pruebas de desarrollo de dispositivo para el diagnóstico de escoliosis postural y estructural.

Objetivos de la investigación

El objetivo de esta investigación es desarrollar una nueva herramienta fisioterapéutica no invasiva para el diagnóstico de la escoliosis, postural y/o estructurada.

Procedimiento

Se le realizará la prueba Adams para saber si usted sufre de escoliosis, y se determinará si es escoliosis postural (adquirida y curable) o estructural idiopática (no se sabe la causa y no es curable con este tipo de tratamiento)

Prueba Adams:

Para comenzar, el paciente se debe quitar su camisa o blusa para que la columna quede visible.

Después, el paciente debe inclinarse hacia adelante, con los pies juntos, relajando los brazos y extendiendo las rodillas. Las palmas se mantienen unidas.

El examinador se coloca por detrás del paciente y observa a lo largo de la columna vertebral en busca de anomalías y asimetrías en el torso producidas por la escoliosis.

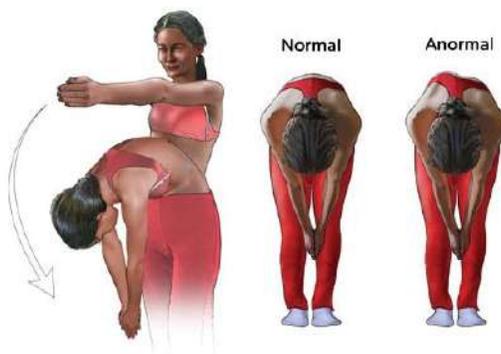


Figura 1 Cómo realizar la prueba de Adams.

Dispositivo de Diagnóstico

Una vez confirmado el diagnóstico con la prueba Adams se le realizará una radiografía para conocer el grado de la curvatura de su espalda, esto para usar como referencia al momento de calibrar el nuevo dispositivo de diagnóstico. Éste cuenta de sensores que se le colocarán en la espalda de la siguiente manera:

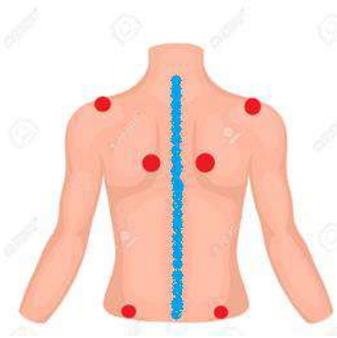


Figura 2 Colocación de los sensores

Se le pedirá que se mantenga en posición erguida de 1 a 2 minutos.

Riesgos posibles

Al aceptar participar en esta investigación se declara que entendió de manera clara el procedimiento y los posibles riesgos que este conlleva;

- Exposición a rayos X
- Incomodidad en la espalda debido a mantener una sola posición por un periodo extendido de tiempo.

Beneficios

- Valoración fisioterapéutica
- Diagnóstico comprobado del tipo de escoliosis

MEDIANTE ESTE DOCUMENTO SE LE GARANTIZA EXPLICAR CADA UNO DE LOS PASOS DEL PROCEDIMIENTO, ASI COMO ESTAR A SUS ÓRDENES CON CUALQUIER DUDA QUE SURGA A LO LARGO DE ESTA INVESTIGACIÓN.

SE LE GRANTIZA, ADEMÁS, LA CONFIDENCIALIDAD DE SUS DATOS; NOMBRE, EDAD, SEXO, DIAGNÓSTICO Y RESULTADOS, LOS CUALES SERÁN USADOS ÚNICAMENTE PARA FINES DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE ESTE PROYECTO.

EN CASO DE CREERLO NECESARIO, PUEDE USTED DECIDIR DEJAR DE PARTICIPAR EN ESTA INVESTIGACIÓN, SIN RECIBIR REPERCUCIÓN O SANCIÓN ALGUNA.

Yo _____ he leído y entendido el objetivo, procedimiento, beneficios y posibles riesgos de esta investigación, comprendo de manera clara todos los términos utilizados y declaro que se me ha explicado con claridad y veracidad las actividades que llevaré acabo en esta investigación.

Acepto los términos y recomendaciones de los investigadores y fisioterapeutas involucrados en este proyecto, por lo que doy mi consentimiento para el uso de mi información con fines de investigación y desarrollo de este dispositivo.

Firma del paciente

Datos de los investigadores

Andrea Elizabeth Rivera Patlán

4444170754

andreariverap96@gmail.com

Georgina Mota

4421795669

g.mota.v@hotmail.com

8 REFERENCIAS

- Agudelo Martínez, M. A. (2013). Factores asociados a la postura corporal en estudiantes universitarios. *CES Movimiento y Salud*, 1(1), 11–18.
<http://revistas.ces.edu.co/index.php/movimientoysalud/article/view/2721/1958>
- Álvarez Garcia de Quesada, L., & Núñez Giralda, A. (2011). Redalyc.Escoliosis idiopática. *Pediatría Atención Primaria*, XIII(49), 135–146.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=366638728014%0ACómo>
- Arduino (2020) Arduino nano (v2.3) User Manual. Arduino.com.
<https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>
- Argaez, L.(2021) *Algoritmo Arduino/Matlab detección de escoliosis postural y estructural*.
- Argaez, L. (2021) *Planos de modelos de prototipo para detección de escoliosis postural y estructural*.
- Bai, Y., & Bai, Q. (2012). *Subsea Engineering Handbook* (Elsevier Science (ed.)).
- Bai, Y., & Bai, Q. (2014). *Subsea Pipeline Design, Analysis and Installation* (E. Science (ed.)).
- Bao, M. (2005). *Analysis and Design Principles Of MEMS Devices* (Elsevier (ed.)).
- Bouziane, H. (2009). *Diseño e implementación de un acelerómetro, velocímetro móvil digital controlado por un PIC de microchip*. 1–112.
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/7998#.Xsr1--5wZZc.mendeley>
- BUPA. (2019). *Escoliosis*. <https://contenidos.bupasalud.com/salud-bienestar/vida-bupa/escoliosis>
- Condomines, J.-P. (2018). *Nonlinear Kalman Filtering for Multi-Sensor Navogation of Unmanned Aerial Vehicles* (Elsevier (ed.)).
- Cuerpo Humano. (s/f). *¿Cuáles son las partes de las vértebras?* Recuperado el 24 de septiembre de 2020, de <http://cuerpohumano.net/partes-de-las-vertebras>
- Daza Lesmes, J. (2007). *Evaluación clínico-funcional del movimiento corporal humano* (E. médica Internacional (ed.)). EDITORIAL MÉDICA PANAMERICANA S.A.C.F.
- El-Feky, M., & Thuaimer, A. (2018). *Cobb Angle*. Radiopaedia.

https://radiopaedia.org/articles/cobb-angle?lang=us#image_list_item_26440094

El Universal de Querétaro. (2014, diciembre 12). Estudiantes de la UAQ padecen de mala postura. *El Universal*. <http://www.eluniversalqueretaro.mx/metropoli/12-12-2014/estudiantes-de-la-uaq-padecen-de-mala-postura>

Física, T. (2017). *Escoliosis*. Terapia Física. <https://www.terapia-fisica.com/escoliosis/>

Galvínico Montenegro, E., Borges Torres Sette, R., Dantas Bezerra, A. L., & Nunes Alves de Sousa, M. (2020). EVALUATION OF QUALITY OF LIFE IN PATIENTS WITH SCOLIOSIS SUBMITTED TO CONSERVATIVE TREATMENT. *Coluna/Columna*, 18–21. <http://www.scielo.br/pdf/coluna/v19n1/2177-014X-coluna-19-01-0018.pdf>

García, I. S., & Sileo G, E. (1992). *Medicina del adolescente, aproximación al adolescente enfermo*. PROAMA.

Gerendas, M. (1992). 15. Problemas Ortopédicos. En *Medicina del adolescente, aproximación al adolescente enfermo*. PROAMA.

Goldberg, C. J., Kaliszer, M., Moore, D. P., Fogarty, E. E., & Dowling, F. E. (2001). Surface topography, Cobb angles, and cosmetic change in scoliosis. *Spine*, 26(4), 55–63. <https://doi.org/10.1097/00007632-200102150-00005>

Gómez Machado, Y. (2017). *Desarrollo de una herramienta computacional para el diagnóstico y seguimiento del proceso de corrección de la escoliosis*.

InvenSense. (2013) *MPU-6000/MPU-6050 Product Specification*. Cdiweb.com. https://www.cdiweb.com/datasheets/invensense/mpu-6050_datasheet_v3%204.pdf

Latarjet, & Ruiz, L. (2011). *Anatomía Humana* (4ta ed.). EDITORIAL MÉDICA PANAMERICANA S.A.C.F.

Llanos Lucero, C., & Montes González, I. T. (2018). *ESCOLIOSIS IDIOPÁTICA DEL ADOLESCENTE: ESTUDIO DESCRIPTIVO, REVISIÓN DE LA LITERATURA Y RECOMENDACIONES DE MANEJO BASADAS EN EVIDENCIA*. 25(1), 21–38.

Mauede, E. (2019). Scoliometer apps. *Scoliosis SOS Clinic*.

Mayo Clinic. (2019). *Escoliosis*. Mayo Clinic Org. <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/scoliosis/symptoms-causes/syc-20350716>

- Mendoza Garfias, E. (2018). Postura corporal en el ámbito escolar. *Congreso Internacional de Investigación e Innovación*, 2301.
https://www.researchgate.net/profile/Anthony_Fow/publication/328565688_PROCESOS_DE_PRODUCCION_Y_APLICACIONES_DEL_BIOCARBON/links/5bd5089e299bf1124fa751b4/PROCESOS-DE-PRODUCCION-Y-APLICACIONES-DEL-BIOCARBON.pdf#page=266
- Miralles Marrero, R. C. (2006). Biomecánica de la artrosis. *Dolor*, 21(2), 69–74.
- Ovadia, D. (2013). Classification of adolescent idiopathic scoliosis (AIS). *Journal of Children's Orthopaedics*, 7(1), 25–28. <https://doi.org/10.1007/s11832-012-0459-2>
- Pearl, B. (2002). *Tratado General de la Musculación* (Paidotribo (ed.); 4ta ed.). A & M Grafic.
- Robles Ortiz, M. J., Sánchez Bringas, G., & Reyes Sánchez, A. A. (2016). Detección temprana de la escoliosis idiopática del adolescente: una estrategia en controversia. *Revista de la Facultad de Medicina (México)*, 59(4), 33–41.
- Rouvière, H. (2005). *Anatomía Humana Descriptiva, Topográfica y Funcional* (Elsevier (ed.); 11a ed.).
- Saldaña Ambulódegui, E. (s/f). *Manual de Anatomía Humana*.
- Sánchez, A. A., Cabrales, A. R., Palacios, C. S., Maraver, P. P., & MarÍA González Manzorro. (2017). *Manual de la espalda*.
- Schafer, R. C. (1987). General Spinal Biomechanics. En *No Title Clinical Biomechanics: Musculoskeletal Actions and Reactions*.
- Scoliosis Research Society. (2020). *El participante y la familia*. SRS.
- Serna Ruiz, A., Ros Garcia, F. A., & Rico Noguera, J. C. (2010). *Guía Practica de Sensores* (C. Copyright (ed.)).
- Shea, K. G., Stevens, P. M., Nelson, M., Smith, J. T., Masters, K. S., & Yandow, S. (1998). A comparison of manual versus computer-assisted radiographic measurement: Intraobserver measurement variability for Cobb angles. En *Spine* (Vol. 23, Número 5, pp. 551–555).
<https://doi.org/10.1097/00007632-199803010-00007>

- Shutterstock (2021) tomado de: <https://www.shutterstock.com/es/image-illustration/figure-female-column-spinal-hand-drawn-1296357040>
- Skinner, H. B. (2004). *Diagnóstico y tratamiento en ortopedia* (E. M. Moderno (ed.)). LANGE.
- Sperandio, F. F., Tavares, G. M. S., & Santos, G. M. (2011). Reproductibilidad intra e interobservadores no ângulo de Cobb em indivíduos escolióticos. *Journal of Human Growth and Development*, 21(1), 21. <https://doi.org/10.7322/jhgd.19992>
- Tejeda Barreras, M. (2011). *www.medigraphic.org.mx Escoliosis: concepto, etiología y clasificación*. 7, 75–82. <http://www.medigraphic.com/orthotips>
- Ubillus-carrasco, G. E., & Sánchez-vélez, A. (2018). *Escoliosis : Un problema frecuente , pero subdiagnosticado Scoliosis : A frequent problem , but underdiagnosed*. 11(3), 192–193.
- UNAM. (2018). Boletín unam-dgc-352; *La mitad de los mexicanos, susceptible a dolor de cuello por usar dispositivos electrónicos*. Ciudad Universitaria. CDMX. Recuperado de : [https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2018_352.html#:~:text=En%20M%C3%A9xico%2C%20aproximadamente%2050%20por,ENES\)%20Le%C3%B3n%20de%20la%20UNAM](https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2018_352.html#:~:text=En%20M%C3%A9xico%2C%20aproximadamente%2050%20por,ENES)%20Le%C3%B3n%20de%20la%20UNAM).
- Unión Latinoamericana de ergonomía (2020). ULAERGO. *Riesgos del trabajo remoto* <http://www.ulaergo.com/>
- Vidal Oltra, A. (2016). La postura corporal y el dolor espalda en alumnos de educación primaria. Una revisión bibliográfica. *EmásF: revista digital de educación física*, 38(38), 60–72.
- Zurita Ortega, F., Ruíz Rodríguez, L., Zaleta Morales, L., Fernández Sánchez, M., Fernández García, R., & Linares Manrique, M. (2014). Análisis de la prevalencia de escoliosis y factores asociados en una población escolar mexicana mediante técnicas de cribado. *Gaceta Médica de México*, 150, 432–439.