

Universidad Nacional de Córdoba – Facultad de Ciencias Exactas Físicas y
Naturales

Ingeniería Biomédica

Proyecto Integrador

Análisis de error en mediciones del cuerpo humano con el dispositivo Kinect 2



Alumno:
Bonet Funes, Ruth María
Matrícula:
37316812

Asesor 1:
Beltramone, Diego
Asesor 2:
Ruival, Ricardo
Asesor 3:
Vitale, Javier



Córdoba, junio de 2017

Agradecimientos

Al Ingeniero Diego Beltramone por su compromiso y por inculcar siempre valores profesionales y humanos.

Al presidente de Geminus-Qhom Ricardo Ruival por su generosidad al abrirme las puertas de su empresa para realizar este proyecto.

Al programador Daniel Rosales por su disposición absoluta para ayudarme y contribuir activamente en la realización del proyecto.

Al kinesiólogo y fisioterapeuta Javier Vitale por haberme orientado e instruido en la problemática de las mediciones en rehabilitación y por haber sido asesor del proyecto.

A todo el equipo de Geminus-Qhom por haber sido muy agradables conmigo haciendo que mi estadía en la empresa haya sido sumamente amena.

A Federico Vera por su generosidad y disposición para ayudarme y brindarme además las herramientas necesarias para orientarme en el ámbito estadístico.

A mi amigo Nicolas Guglielmone por haber estado siempre dispuesto a ayudarme con su experiencia y haberse interesado en el proyecto.

A mi familia por su apoyo incondicional con su incentivo, su amor, sacrificio y enseñanzas invaluable.

A mis amigos por estar siempre y acompañarme a lo largo de todos los momentos importantes de mi vida.

Y a todos aquellos que formaron parte de esta experiencia.

Infinitamente Gracias.

Resumen

En el presente trabajo se llevará a cabo una investigación estadística con mediciones de campo, para determinar la confiabilidad y usabilidad de la consola de Microsoft Kinect 2 como instrumento de medición antropométrica. El deseo de realizar el estudio surge en el marco del proyecto “Motmi®” desarrollado por la empresa Geminus Qhom. Motmi® utiliza la Kinect 2 como instrumento de rehabilitación, a través de la realidad virtual. El equipo de trabajo desarrolla diferentes ejercicios comunes de rehabilitación en entornos de realidad virtual, para que el proceso sea más amigable para el paciente y de esta manera, los resultados sean más efectivos. Sin embargo, la información actual de los ejercicios desarrollados son de índole cualitativa, por lo que Motmi® quiere sumergirse en el ámbito de las mediciones del cuerpo humano a través de una valoración estática para obtener también datos cuantitativos del avance del paciente, razón por la cual se decidió realizar el análisis en cuestión.

Con respecto al proyecto en concreto, se realizarán una determinada cantidad de mediciones de ángulos en diferentes articulaciones y de inclinaciones de postura, tanto con Kinect 2 como con los instrumentos tradicionales que se utilizan para tal fin y se compararán los resultados a través de diferentes métodos de análisis estadísticos.

Se determinará:

- Exactitud y precisión del nuevo método
- Incertidumbre de las mediciones
- Concordancia entre los instrumentos de medición
- Aplicabilidad del método

Contenido

Agradecimientos	2
Resumen	3
Contenido.....	4
Índice de Ilustraciones.....	8
Índice de Tablas	10
Introducción.....	11
Objetivos	12
<i>Objetivo General</i>	<i>12</i>
<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>12</i>
MARCO TEÓRICO	13
<i>CAPÍTULO N°1: GENERALIDADES DE LAS MEDICIONES</i>	<i>13</i>
Concepto de medición	13
Evaluación de la validez de un método de medición	13
Instrumento de medición.....	14
Especificaciones de un instrumento de medición	14
Características de un instrumento de medición confiable.....	15
Errores en la medición	16
Conceptos estadísticos básicos para estudiar un instrumento de medición ...	17
<i>CAPÍTULO 2: MEDICIONES EN EL CUERPO HUMANO</i>	<i>27</i>
Valoración postural:	27
Goniometría.....	27
<i>CAPÍTULO N°3: APLICACIÓN DE LA REALIDAD VIRTUAL EN LA REHABILITACIÓN</i>	<i>30</i>
Tipos de realidad virtual.....	30
Realidad virtual en la rehabilitación	31
Ventajas de la utilización de realidad virtual en rehabilitación	32
Proyecto Motmi®	32
<i>CAPÍTULO N°4: MÉTODOS ACTUALES DE MEDICIONES EN EL CUERPO HUMANO Y MÉTODO A IMPLEMENTAR.....</i>	<i>36</i>
Métodos actuales de medición angular	36
Método de medición de la postura.....	37

Método alternativo a implementar.....	38
MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
<i>CAPÍTULO N°5: BENEFICIOS QUE INTRODUCE KINECT 2 EN RELACIÓN AL MÉTODO TRADICIONAL</i>	<i>40</i>
<i>CAPÍTULO N°6: PROTOCOLOS A UTILIZAR PARA EL PROYECTO</i>	<i>41</i>
Protocolo de medición	41
Protocolo de validación para determinar si Kinect 2 es una alternativa válida para realizar mediciones en rehabilitación.....	49
Protocolo de recomendaciones de uso de Motmi®	51
<i>CAPÍTULO N°7: DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS RESIDUOS</i>	<i>53</i>
Caso 1: abducción de hombro derecho a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	53
Caso 2: inclinación de cabeza a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	54
Caso 3: valgo fisiológico de rodilla a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	55
Caso 4: abducción de hombro derecho a 3 metros de distancia en mujer de 1.65 metros de altura.....	56
Caso 5: abducción de hombro derecho a 2 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	57
Caso 6: inclinación de cabeza a 2 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	58
Caso 7: inclinación de hombros a tres metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	59
Análisis global de la normalidad de los datos	59
<i>CAPÍTULO 8: REGRESIÓN LINEAL</i>	<i>61</i>
Caso 1: abducción de hombro derecho a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	62
Caso 2: inclinación de cabeza a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	64
Caso 3: valgo fisiológico de rodilla a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	67
Caso 4: abducción de hombro derecho a 3 metros de distancia en mujer de 1.65 metros de altura.....	68
Caso 5: abducción de hombro derecho a 2 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	70
Caso 6: inclinación de cabeza a 2 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	72

Caso 7: inclinación de hombros a tres metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	74
Los gráficos indican un buen ajuste de los datos al análisis.....	76
Análisis global de la regresión lineal y el coeficiente de correlación de los datos.....	76
CAPÍTULO 9: COEFICIENTE DE CONCORDANCIA DE LIN	77
Caso 1: abducción de hombro derecho a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	77
Caso 2: inclinación de cabeza a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	78
Caso 3: valgo fisiológico de rodilla a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	78
Caso 4: abducción de hombro derecho a 3 metros de distancia en mujer de 1.65 metros de altura.....	78
Caso 5: abducción de hombro derecho a 2 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	79
Caso 6: inclinación de cabeza a 2 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	79
Caso 7: inclinación de hombros a tres metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	79
Análisis global del coeficiente de concordancia de Lin de los datos.....	80
CAPÍTULO 10: ANÁLISIS DE EXACTITUD Y PRECISIÓN EN LAS MEDICIONES	81
Caso 1: abducción de hombro derecho a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	81
Caso 2: inclinación de cabeza a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	81
Caso 3: valgo fisiológico de rodilla a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	82
Caso 4: abducción de hombro derecho a 3 metros de distancia en mujer de 1.65 metros de altura.....	83
Caso 5: abducción de hombro derecho a 2 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	83
Caso 6: inclinación de cabeza a 2 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	83
Caso 7: inclinación de hombros a tres metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura.....	84
Análisis global de del sesgo de los datos	84
CAPÍTULO N°11: ANÁLISIS DE PRECISIÓN	85
RESULTADOS.....	87

<i>CAPÍTULO N° 12: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</i>	87
Concordancia y exactitud.....	87
Incertidumbre de las mediciones	92
Precisión	92
CONCLUSIONES	93
Conclusión de los resultados	93
Soluciones para disminuir los errores en las mediciones	94
Resultados personales alcanzados a lo largo del desarrollo del proyecto integrador.....	94
Complicaciones principales encontradas.....	95
Mejoras a futuro.....	95
Bibliografía	96
ANEXOS	98
<i>Anexo N°1: Mediciones del caso 1</i>	99
<i>Anexo N°2: Mediciones del caso 2</i>	100
<i>Anexo N°3: Análisis del caso 3</i>	101
<i>Anexo N°4: Análisis del caso 4</i>	102
<i>Anexo N°5: Mediciones del caso 5</i>	103
<i>Anexo N°6: Análisis del caso 6</i>	104
<i>Anexo N°7: Análisis del caso 7</i>	105
<i>Anexo N°8: Mediciones del maniquí</i>	106

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: esquema de exactitud y precisión ¹	15
Ilustración 2: distribución normal de una población ²	20
Ilustración 3: error tipo I y error tipo II ³	22
Ilustración 4: realidad virtual.....	31
Ilustración 5: vista de la plataforma Motmi®.....	33
Ilustración 6: ejercicio de Motmi®.....	34
Ilustración 7: movimientos en espejo	34
Ilustración 8: goniómetro	36
Ilustración 9: ejemplo de ejercicio de evaluación estática con Motmi®.....	39
Ilustración 10: ejemplo de medición con Motmi®.....	45
Ilustración 11: medición con GeoGebra	47
Ilustración 12: prueba de normalidad del caso 1	53
Ilustración 13: histograma del caso 1	54
Ilustración 14: prueba de normalidad del caso 2.....	54
Ilustración 15: histograma caso 2.....	55
Ilustración 16: prueba de normalidad caso 3.....	55
Ilustración 17: prueba de normalidad caso 4.....	56
Ilustración 18: histograma caso 4.....	56
Ilustración 19: prueba normalidad caso 5.....	57
Ilustración 20: histograma caso 5.....	57
Ilustración 21: prueba de normalidad caso 6.....	58
Ilustración 22: histograma caso 6.....	58
Ilustración 23: prueba de normalidad caso 7.....	59
Ilustración 24: histograma caso 7.....	59
Ilustración 25: regresión lineal del caso 1	62
Ilustración 26: coeficiente de correlación de Pearson del caso 1	63
Ilustración 27: diagrama de dispersión del caso 1.....	63
Ilustración 28: gráfico de distribución de residuos del caso 1	64
Ilustración 29: regresión lineal del caso 2	64
Ilustración 30: coeficiente de correlación de Pearson del caso 2	65
Ilustración 31: diagrama de dispersión caso 2	66
Ilustración 32: gráfico de distribución de los residuos del caso 2	66
Ilustración 33: regresión lineal del caso 3	67
Ilustración 34: regresión lineal del caso 4	68
Ilustración 35: coeficiente de correlación de Pearson del caso 4.....	68
Ilustración 36: diagrama de dispersión del caso 4.....	69
Ilustración 37: gráfico de distribución de los residuos del caso 4	70
Ilustración 38: regresión lineal caso 5	70
Ilustración 39: coeficiente de correlación de Pearson del caso 5	71
Ilustración 40: diagrama de dispersión del caso 5.....	71

Ilustración 41: gráfico de distribución de los residuos del caso 5	72
Ilustración 42: regresión lineal del caso 6	72
Ilustración 43: coeficiente de correlación de Pearson del caso 6	73
Ilustración 44: diagrama de dispersión del caso 6.....	73
Ilustración 45: gráfico de distribución de los residuos del caso 6	74
Ilustración 46: regresión lineal del caso 7	74
Ilustración 47: coeficiente de correlación del Pearson del caso 7	75
Ilustración 48: diagrama de dispersión del caso 7.....	75
Ilustración 49: gráfico de distribución de residuos del caso 7	76
Ilustración 50: coeficiente de concordancia de Lin del caso 1	77
Ilustración 51: coeficiente de concordancia de Lin del caso 2.....	78
Ilustración 52: coeficiente de concordancia de Lin del caso 4.....	78
Ilustración 53: coeficiente de concordancia de Lin del caso 5.....	79
Ilustración 54: coeficiente de concordancia de Lin del caso 6.....	79
Ilustración 55: coeficiente de concordancia de Lin del caso 7.....	80
Ilustración 56: estadística descriptiva del sesgo del caso 1	81
Ilustración 57: estadística descriptiva del sesgo del caso 2	81
Ilustración 58: estadística descriptiva del sesgo del caso 3	82
Ilustración 59: estadística descriptiva del sesgo del caso 4	83
Ilustración 60: estadística descriptiva del sesgo del caso 5	83
Ilustración 61: estadística descriptiva del sesgo del caso 6	83
Ilustración 62: estadística descriptiva del sesgo del caso 7	84
Ilustración 63: medición en el maniquí	86
Ilustración 64: estadística descriptiva de la precisión.....	86
Ilustración 65: medición del valgo fisiológico.....	90
Ilustración 66: corrección de la medición del valgo fisiológico.....	91

Índice de Tablas

Tabla 1: descripción de personas a medir.....	49
Tabla 2: interpretación sugerida del coeficiente de correlación de Pearson	61
Tabla 3: interpretación del coeficiente de concordancia de Lin	77
Tabla 4: resumen de los resultados	87
Tabla 5: mediciones del caso 1	99
Tabla 6: mediciones del caso 2	100
Tabla 7: mediciones del caso 3.....	101
Tabla 8: mediciones del caso 4	102
Tabla 9: mediciones del caso 5.....	103
Tabla 10: mediciones del caso 6	104
Tabla 11: mediciones del caso 7	105
Tabla 12: mediciones del maniquí.....	106

Introducción

En el mundo existe una gran cantidad de personas que sufren de discapacidad motriz, quienes deben realizar terapias de rehabilitación temporales o permanentes para poder recuperar sus capacidades o por lo menos potenciarlas y mejorarlas.

Según el censo de 2013 realizado por el instituto nacional de estadísticas y censos (INDEC) (www.indec.gob.ar, 2017), el 18.9% (7.853.177 personas) de la población argentina sufre de alguna dificultad o limitación permanente, de los cuales un 35% de ese total presenta alguna discapacidad motriz (2.810.657 personas).

Dentro del proceso de rehabilitación, es sumamente importante que los profesionales de la salud a cargo del tratamiento del paciente le hagan un seguimiento no solo cualitativo de su avance o mejoría, sino también cuantitativo, es decir que no solo deben basarse en observaciones, sino que deben tener datos objetivos de los avances. Es aquí donde las mediciones juegan un papel muy importante. Periódicamente (dependiendo la discapacidad del paciente) se deben realizar mediciones de la parte del cuerpo que se encuentre en rehabilitación, para poder determinar en qué grado la función motriz ha mejorado o empeorado. De esta manera, ya no importa si el profesional se equivoca en su apreciación, o si bien, el paciente decide continuar su tratamiento en otro lugar o con otra persona, mientras que exista un registro de las mediciones que se han realizado a lo largo de las diferentes sesiones, se sabrá fehacientemente cual es la situación actual del paciente y cuáles han sido sus avances.

Sin embargo, a pesar de la importancia de la objetividad, en la práctica, la gran mayoría de los terapeutas no realiza las mediciones debidas, ya que suele ser un proceso engorroso, dejando a criterio del profesional el potencial avance o deterioro de la función motriz.

En base a esta situación, es que se consideró ampliar las prestaciones de la realidad virtual, a través de Motmi®, con el objetivo de no solo motivar al paciente en su proceso de rehabilitación utilizando un ambiente lúdico, sino de realizar una evaluación global del mismo, con el correspondiente registro puntal.

Así, cada centro de rehabilitación que cuente con la tecnología Motmi® como herramienta de rehabilitación, podrá comenzar a tomar datos cuantitativos, muy importantes para el proceso como se mencionó anteriormente.

El problema que surge, es que la Kinect 2 no está verificada como instrumento de medición, por lo tanto, no se tiene conocimiento de la calidad de las mediciones realizadas con el dispositivo. Es por esta razón, que en el presente trabajo, se determinará cual es la calidad de las mediciones que se realizan con este instrumento. Para tal fin, se realizarán mediciones de campo tanto con los instrumentos tradicionales como con el nuevo y luego esos resultados serán sometidos a diferentes análisis estadísticos para luego poder estudiar los resultados y determinar si es factible utilizar dicho dispositivo como instrumento de medición en rehabilitación.

Objetivos

Objetivo General

- Determinar la confiabilidad y usabilidad de la consola Microsoft Kinect 2 como instrumento de medición para el cuerpo humano.

Objetivos Específicos

- Determinar la diferencia de las mediciones realizadas con la Kinect 2 en comparación con el instrumento tradicional de medición.
- Evaluar la capacidad de repetibilidad del método
- Establecer la incertidumbre de las mediciones
- Estimar la concordancia entre los instrumentos de medición que sean comparados.

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO N°1: GENERALIDADES DE LAS MEDICIONES

Concepto de medición

Medir es comparar una cantidad con su respectiva unidad, con el fin de averiguar cuantas veces la segunda está contenida en la primera, (dle.rae.es; diciembre 2016).

Medir una magnitud física es asociar a la misma un valor dimensionado en relación a la unidad que arbitrariamente se ha definido para medirla. (Balseiro, 2002). Así, medir un ángulo o una distancia, significa establecer el número de veces que la unidad está contenida en dicha amplitud.

Evaluación de la validez de un método de medición

En los estudios que tratan de evaluar la validez de una medida se comparan sus resultados con los obtenidos mediante una prueba de referencia (Gold Standard) que se sabe válida y fiable para la medición del fenómeno de interés.

Cuando el objetivo se centra en la fiabilidad de una medición, se repite el proceso de medida para evaluar la concordancia entre las distintas mediciones. En un estudio de la fiabilidad pueden valorarse los siguientes aspectos:

a. Repetibilidad: es la característica de un proceso de medición que toma en cuenta la variabilidad de los resultados cuando se aplica a un mismo mensurando en más de una ocasión, en idénticas condiciones.

b. Concordancia intraobservador: tiene por objetivo evaluar el grado de consistencia al efectuar la medición de un observador consigo mismo.

c. Concordancia interobservador: se refiere a la consistencia entre dos observadores distintos cuando evalúan una misma medida en un mismo individuo.

d. Concordancia entre instrumentos de medición: cuando existen diferentes instrumentos de medición para un mismo fenómeno, es interesante estudiar hasta qué punto los resultados obtenidos entre ellos son equivalentes. (Pita & Pértegas, 2004)

Instrumento de medición

Para medir se requiere de instrumentos de medición, y de unidades de medida. Las unidades de medición varían de acuerdo a lo que se desea medir.

Se denomina instrumento o aparato de medida a todo dispositivo destinado a realizar una medición, solo o con dispositivos suplementarios. El término así definido según la norma COVENIN 2552:1999. (Sáez Ruiz & Font Avila, 2001)

Especificaciones de un instrumento de medición

Las especificaciones que es recomendable tener de los instrumentos de medición son:

- Rango de indicación: conjunto de valores limitados por las indicaciones extremas del instrumento de medición. El rango es normalmente expresado en términos de sus límites inferior y superior.
- Valor nominal: valor redondeado o aproximado de una característica de un instrumento de medición que sirve de guía para su utilización.
- Intervalo de medición: módulo de la diferencia entre los dos límites de un rango nominal.
- Apreciación: diferencia entre los valores correspondientes a dos marcas sucesivas de la escala.
- Resolución (de un dispositivo indicador): menor diferencia entre indicaciones de un dispositivo indicador que puede ser distinguida significativamente. Para un instrumento de indicación digital, es el campo en la indicación cuando un dígito menos significativo cambia en un paso.
- Condiciones nominales de funcionamiento: condiciones de utilización para las cuales, se proyecta que las características metrológicas especificadas de un instrumento de medición estén comprendidas entre límites dados. Las condiciones nominales de funcionamiento especifican generalmente el rango o valores nominales de la magnitud a medir de las magnitudes influyentes.
- Condiciones límites: condiciones extremas que puede soportar el instrumento de medición sin dañarse y sin degradarse sus características metrológicas especificadas, cuando es utilizado posteriormente bajo condiciones nominales de funcionamiento.
- Error máximo permisible de un instrumento de medición: es el valor extremo del error permisible por especificaciones, regulaciones, etc., para un instrumento de medición dado (Sáez Ruiz & Font Avila, 2001).

Características de un instrumento de medición confiable

Un instrumento de medición debe contar con determinadas características para asegurar que sus mediciones son cercanas al valor real del parámetro que se desea estimar y así reducir al máximo los errores que se puedan generar en la medición.

Dichas características son:

- Exactitud: describe la diferencia entre el valor registrado y el valor esperado.
- Precisión: describe la variación que se observa al medir el mismo elemento de forma repetida y usando el mismo método de medición.
- Reproducibilidad del método (análisis de sistemas de medición, n.d.)

Podemos descomponer la exactitud de un sistema de medida en tres

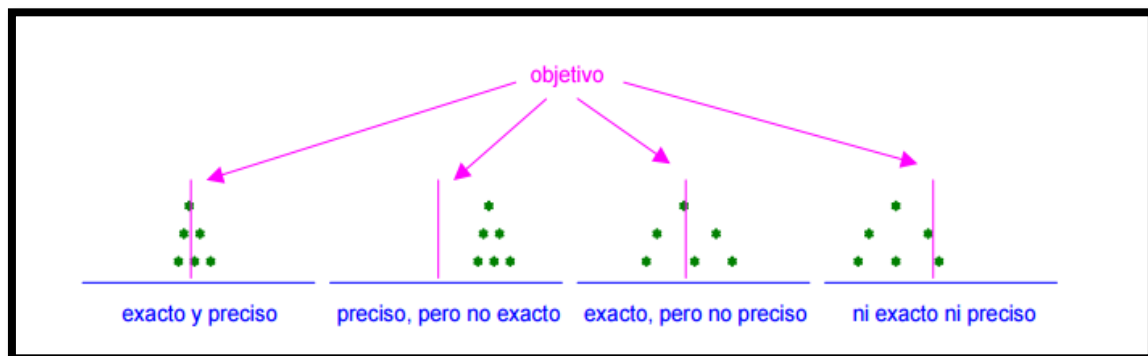


Ilustración 1: esquema de exactitud y precisión ¹

componentes:

1. Linealidad: Indica cómo varía el nivel de exactitud obtenido en la medición en función del tamaño del objeto medido. Da una idea de cómo el tamaño del elemento a medir afecta a la exactitud del sistema de medida.

2. Exactitud: Es la diferencia entre la medición media observada y un “valor maestro”. Da una idea de lo “centrado” o “ajustado” que está el sistema de medida (sesgo).

3. Estabilidad: Es la variación total que se obtendría al medir el mismo elemento repetidas veces usando un mismo aparato de medición. Nos da una idea de cómo de exacto o estable es el sistema con el paso del tiempo.

¹Imagen obtenida de “https://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC_2.pdf” última visita a la página 03/2017

Análogamente, podemos descomponer la precisión o medida de la variación en dos partes:

1. Repetibilidad: Es la variación observada cuando el mismo operario mide el mismo elemento de forma repetida usando el mismo aparato. Da una idea de la variación debida a dicho aparato de medida.

2. Reproducibilidad: Es la variación observada cuando distintos operarios miden el mismo elemento usando el mismo aparato. Nos da una idea de la variación debida al operario. (análisis de sistemas de medición, centro estadístico de la calidad con minitab, n.d.)

Con respecto a la reproducibilidad del método, a diferencia de la reproducibilidad nombrada más arriba, se refiere a la capacidad que tenga una prueba o experimento de ser reproducido o replicado por otros, en particular, por la comunidad científica. El término está estrechamente relacionado al concepto de testabilidad. La reproducibilidad es uno de los pilares del método científico.

Los resultados de un experimento llevado a cabo por un investigador o grupo de investigación particular son evaluados generalmente por otros investigadores independientes reproduciendo el experimento original. Repiten el mismo experimento por sí mismos, basándose en la descripción del experimento original, y comprueban si su experimento tiene resultados similares a los comunicados por el grupo original. Se dice que los valores resultantes son conmensurables si se obtienen (en distintos procesos experimentales) de acuerdo con los mismos procedimientos experimentales descritos y reproducibles. (Wikipedia, Mayo 2017)

Errores en la medición

- Error aleatorio: Es aquel error inevitable que se produce por eventos únicos imposibles de controlar durante el proceso de medición. Se contrapone al concepto de error sistemático. Las fuentes de los errores aleatorios son difíciles de identificar o sus efectos no pueden corregirse del todo. Son numerosos y pequeños. Este error ocurre o está dado por el azar. El error aleatorio indica el nivel de precisión del método de medición.
- Error sistemático: Es aquel que se produce de igual modo en todas las mediciones que se realizan de una magnitud. El error sistemático está condicionado por algún factor distinto al azar. Ejemplo: el error de las masas patrón del laboratorio se transfiere sistemáticamente al momento de calibrar la balanza. El error sistemático está representado por el sesgo.

La conjunción de ambos errores, forma lo que se conoce como incertidumbre de la medición, que caracteriza la dispersión de los valores que razonablemente pueden ser atribuidos al mensurado. (Boris Duffau, 2010)

Conceptos estadísticos básicos para estudiar un instrumento de medición

- Estadística: Rama de la matemática que utiliza grandes conjuntos de datos (muestra de una población) numéricos para obtener inferencias basadas en el cálculo de probabilidades. (www.rae.es, 2017).
- Probabilidad: Cálculo matemático de las posibilidades que existen de que una cosa se cumpla o suceda al azar. Es una medida de la certidumbre asociada a un suceso o evento futuro y suele expresarse como un número entre 0 y 1 (o entre 0% y 100%). (www.rae.es, 2017)

Población y muestra

- Población: es el conjunto total de individuos, objetos o medidas que poseen algunas características comunes observables en un lugar y en un momento determinado. Cuando se vaya a llevar a cabo alguna investigación debe de tenerse en cuenta algunas características esenciales al seleccionarse la población bajo estudio.

Entre éstas tenemos:

- ✓ Homogeneidad: que todos los miembros de la población tengan las mismas características según las variables que se vayan a considerar en el estudio o investigación.
- ✓ Tiempo: se refiere al período de tiempo donde se ubicaría la población de interés. Determinar si el estudio es del momento presente o si se va a estudiar a una población de cinco años atrás o si se van a entrevistar personas de diferentes generaciones.
- ✓ Espacio: se refiere al lugar donde se ubica la población de interés. Un estudio no puede ser muy abarcador y por falta de tiempo y recursos hay que limitarlo a un área o comunidad en específico.
- ✓ Cantidad: se refiere al tamaño de la población. El tamaño de la población es sumamente importante porque ello determina o afecta al tamaño de la muestra que se vaya a seleccionar, además que la falta de recursos y

tiempo también nos limita la extensión de la población que se vaya a investigar.

- **Muestra:** la muestra es un subconjunto fielmente representativo de la población, ya que en la gran mayoría de los casos resulta imposible estudiar toda la población. Hay diferentes tipos de muestreo. El tipo de muestra que se seleccione dependerá de la calidad y cuán representativo se quiera sea el estudio de la población.
 - ✓ Aleatoria: cuando se selecciona al azar y cada miembro tiene igual oportunidad de ser incluido.
 - ✓ Estratificada: cuando se subdivide en estratos o subgrupos según las variables o características que se pretenden investigar. Cada estrato debe corresponder proporcionalmente a la población.
 - ✓ Sistemática: cuando se establece un patrón o criterio al seleccionar la muestra. Ejemplo: se entrevistará una familia por cada diez que se detecten. (metodologiaeninvestigacion.blogspot.com.ar, 2017)

Variable

Una variable es cualquier valor que pueda cambiar de un objeto al siguiente en la población, como por ejemplo, la edad de la población, temperatura en una habitación, cantidad de piezas manufacturadas por día, etc.

Una variable es discreta si sus valores posibles forman un conjunto finito, o bien, se pueden listar en una sucesión infinita en que haya un primer número, segundo número, y así sucesivamente. Una variable es continua si sus valores posibles consisten en todo un intervalo en la recta numérica. (www.hrc.es, 2017)

Media y varianza de una muestra

La media aritmética (también llamada promedio o media) de un conjunto finito de números es el valor característico de una serie de datos cuantitativos, objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos. Cuando el conjunto es una muestra aleatoria recibe el nombre de media muestral siendo uno de los principales estadísticos muestrales.

La desviación estándar (denotada con el símbolo σ o s , dependiendo de la procedencia del conjunto de datos) es una medida de dispersión para variables de razón (variables cuantitativas o cantidades racionales) y de intervalo. Se define

como la raíz cuadrada de la varianza de la variable. Es una medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio.

La desviación estándar de esas medidas es de vital importancia: si la media de las medidas está demasiado alejada de la predicción (con la distancia medida en desviaciones estándar), entonces consideramos que las medidas contradicen la teoría. Esto es coherente, ya que las mediciones caen fuera del rango de valores en el cual sería razonable esperar que ocurrieran si el modelo teórico fuera correcto. La desviación estándar es uno de tres parámetros de ubicación central; muestra la agrupación de los datos alrededor de un valor central (la media o promedio). (Ricardi, 2011)

Para que las desviaciones sean cantidades no negativas, para que las desviaciones positivas y negativas no se contrarresten, se consideran las desviaciones elevadas al cuadrado, que sería la varianza muestral. (Jay L. Devore, 2001)

Distribución normal de una población

Al hacer mediciones de cualquier tipo y distribuir nuestros resultados bajo algún criterio, es muy común encontrar que los datos se agrupan de manera muy característica. En muchos de estos casos veremos que dichas distribuciones siguen una forma muy particular en la que tenemos un mayor número de observaciones para cierto valor, disminuyendo la cantidad de observaciones a ambos lados de la observación más frecuente.

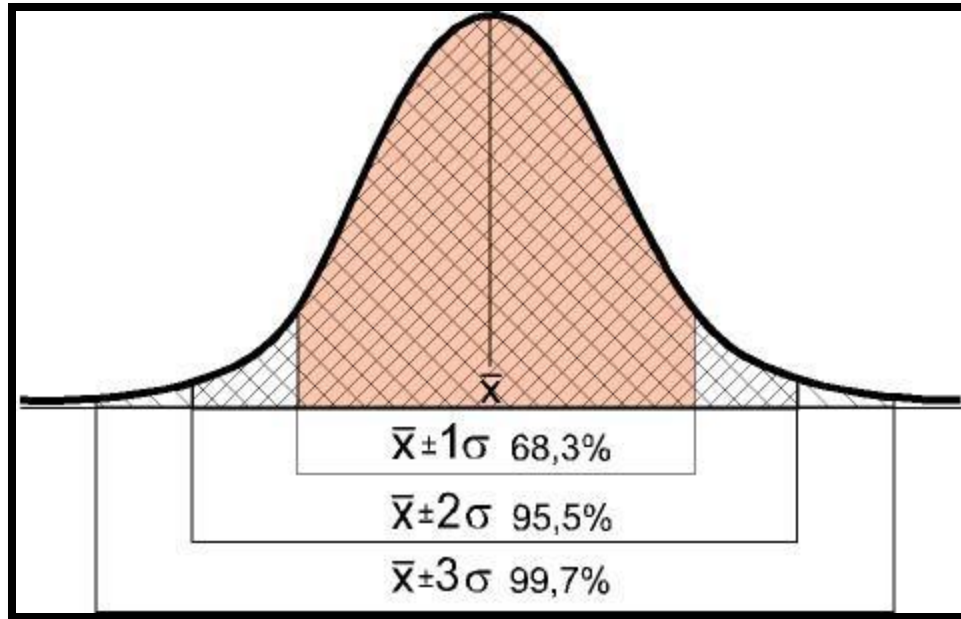


Ilustración 2: distribución normal de una población²

A este tipo de distribución se la conoce como distribución normal o gausseana.

Los parámetros que caracterizan esta distribución son su media (\bar{x}) y su desviación estándar (σ) que es una medida de qué tan ancha es la curva.

Matemáticamente esta distribución obedece a lo que se conoce como el *teorema del límite central*.

Este teorema estipula que si tomamos muestras de una población que tenga cualquier tipo de distribución, pero una media y varianza finitas, entonces, la distribución de las medias tiende a la distribución normal. Entre mayor sea el número de muestras mejor será la aproximación a una distribución normal. (geogencias.unam.mx, 2017)

Prueba de hipótesis

Una prueba de hipótesis es una prueba estadística que se utiliza para determinar si existe suficiente evidencia en una muestra de datos para inferir que cierta condición es válida para toda la población.

Una prueba de hipótesis examina dos hipótesis opuestas sobre una población: la hipótesis nula y la hipótesis alternativa. La hipótesis nula es el enunciado que se probará. Por lo general, la hipótesis nula es un enunciado de

² Imagen obtenida de "<https://jesusgarciaj.com/2010/01/22/la-curva-de-distribucion-normal/>" última visita a la página: 03/2017

que "no hay efecto" o "no hay diferencia". La hipótesis alternativa es el enunciado que se desea poder concluir que es verdadero.

Con base en los datos de la muestra, la prueba determina si se debe rechazar la hipótesis nula. Para tomar la decisión se utiliza un valor p (valor probabilístico). Si el p-valor es menor que o igual al nivel de significancia (se explicará más adelante), entonces se puede rechazar la hipótesis nula. (support.minitab.com, 2017)

Ninguna prueba de hipótesis es 100% cierta. Puesto que la prueba se basa en probabilidades, siempre existe la posibilidad de sacar una conclusión incorrecta.

- Error de Tipo I

Si rechaza la hipótesis nula cuando ésta es verdadera, se comete un error de tipo I. La probabilidad de cometer un error de tipo I es α , que es el nivel de significancia que se establece para la prueba de hipótesis. Un α de 0.05 indica que usted está dispuesto a aceptar una probabilidad de 5% de que está equivocado cuando rechaza la hipótesis nula. Para reducir este riesgo, se debe utilizar un valor más bajo para α . Sin embargo, si se utiliza un valor más bajo para alfa, significa que habrá menos probabilidades de detectar una diferencia verdadera, si es que realmente existe.

- Error de tipo II

Cuando la hipótesis nula es falsa y no se rechaza, se está cometiendo un error de tipo II. La probabilidad de cometer un error de tipo II es β , que depende de la potencia de la prueba. Se puede reducir su riesgo de cometer un error de tipo II al asegurarse de que la prueba tenga suficiente potencia. Para ello, hay que asegurarse que el tamaño de la muestra sea lo suficientemente grande como para detectar una diferencia práctica cuando ésta realmente exista.

	Hipótesis nula	
Decisión	Verdadero	Falso
No rechazar	Decisión correcta (probabilidad = $1 - \alpha$)	Error de tipo II - no rechazar la hipótesis nula cuando es falsa (probabilidad = β)
Rechazar	Error de tipo I - rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera (probabilidad = α)	Decisión correcta (probabilidad = $1 - \beta$)

Ilustración 3: error tipo I y error tipo II³³

Prueba de hipótesis para determinar la normalidad de una población

Es muy importante comprobar la distribución normal de una población en estudio, ya que muchos análisis estadísticos (algunos de los cuales se utilizarán en este trabajo) requieren cumplir esta condición para que el resultado sea fiable.

Existen dos métodos que son ampliamente utilizados para este fin debido a su alta confiabilidad. Dichos métodos son la prueba de Kolmogorov-Smirnoff y la prueba de Shapiro-Wilks.

En ambos casos, las hipótesis serán:

H0= La muestra tiene distribución normal.

H1= la muestra no tiene distribución normal.

- Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Cuando la prueba Kolmogorov-Smirnov se aplica para contrastar la hipótesis de normalidad de la población.

La distribución del estadístico de Kolmogorov-Smirnov es independiente de la distribución poblacional especificada en la hipótesis nula y los valores críticos de este estadístico están tabulados. Si la distribución postulada es la normal y se estiman sus parámetros, los valores críticos se obtienen aplicando la corrección de significación propuesta por Lilliefors.

- Prueba de Shapiro-Wilks

En la prueba de hipótesis de Shapiro-Wilks se rechazará la hipótesis nula de normalidad si el estadístico es menor que el valor crítico proporcionado por la

³ Imagen obtenida de “<http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/hypothesis-tests/basics/type-i-and-type-ii-error/>” última visita a la página: 03/2017

tabla elaborada por los autores para el tamaño muestral y el nivel de significación dado. (www.ub.edu, 2017)

Regresión y correlación lineal

Un análisis de regresión genera una ecuación para describir la relación estadística entre uno o más predictores y la variable de respuesta y para predecir nuevas observaciones. La regresión lineal generalmente utiliza el método de estimación de mínimos cuadrados ordinarios, del cual se obtiene la ecuación al minimizar la suma de los residuos cuadrados.

La regresión lineal simple examina la relación lineal entre dos variables continuas: una respuesta (y) y un predictor (x). Cuando las dos variables están relacionadas, es posible predecir un valor de respuesta a partir de un valor predictor con mayor exactitud.

Regresión ofrece la línea que "mejor" se ajusta a los datos. Esta línea se puede utilizar después para:

- Examinar cómo cambia la variable de respuesta a medida que cambia la variable predictora.
- Predecir el valor de una variable de respuesta (y) para cualquier variable predictora (x).

En la regresión de cuadrados mínimos ordinarios (OLS), la ecuación estimada se calcula cuando se determina la ecuación que minimiza la suma de las distancias elevadas al cuadrado entre los puntos de datos de la muestra y los valores pronosticados por la ecuación. (support.minitab.com, 2017)

Coefficiente de correlación de Pearson

Un coeficiente de correlación mide el grado en que dos variables tienden a cambiar al mismo tiempo. El coeficiente describe tanto la fuerza como la dirección de la relación.

El coeficiente de Pearson mide la probabilidad de establecer una ecuación lineal entre dos variables, en la que por cada cambio de unidad en una de ellas se espera un cambio de unidad (correlativo) en la otra, sin tener en cuenta ni la magnitud ni la escala de medición de las variables comprometidas.

El coeficiente de Pearson mide la intensidad de la asociación lineal entre dos mediciones (correlación) pero no proporciona información acerca del acuerdo observado, ni sobre la presencia de diferencias sistemáticas entre las mediciones o instrumentos. (Édgar Cortés-Reyes TF, Et Al, 2010)

El coeficiente de Pearson puede tomar valores entre -1 y 1, siendo -1 una relación indirecta perfecta, 0 inexistencia de relación y 1 relación directa perfecta.

Al coeficiente de correlación de Pearson se lo indica con la letra R.

Coeficiente de determinación

Denominado R^2 , es un estadístico usado en el contexto de un modelo estadístico cuyo principal propósito es predecir futuros resultados o probar una hipótesis. El coeficiente determina la calidad del modelo para replicar los resultados, y la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por el modelo. (Steel, 1960)

En el caso de la regresión lineal, no es más que el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson.

Análisis de concordancia

- Prueba de hipótesis t apareada

Se utiliza este análisis para:

- ✓ Determinar si la media de las diferencias entre dos muestras pareadas es diferente de 0 (o un valor objetivo)
- ✓ Calcular un rango de valores que probablemente incluya la media de las diferencias de la población (support.minitab.com, 2017)

- Coeficiente de correlación intraclase

El coeficiente de correlación intraclase (CCI), es una formulación especial del coeficiente de correlación (ρ) de Pearson.

Este método permite evaluar la concordancia general entre dos o más métodos de medida u observación basado en un modelo de análisis de varianza (ANOVA) con medidas repetidas. Se define como la proporción de la variabilidad total que es debida a la variabilidad de los sujetos. Supone que la variabilidad total de las mediciones puede desagregarse en dos componentes:

- a) la variabilidad debida a las diferencias entre los sujetos (entresujetos)
- b) la debida a la medición para cada sujeto (intrasujetos), la que a su vez se subdivide en:
 - i) variabilidad entre observaciones y
 - ii) variabilidad residual, debida al error que conlleva dicha medición.

Este coeficiente estima el promedio de las Métodos estadísticos de correlaciones entre todas las posibles ordenaciones de los pares de observaciones disponibles, evitando así el problema de la dependencia del orden del coeficiente de correlación de Pearson.

El CCI no explica o discrimina la variabilidad entre los métodos de medición o la debida a las diferencias entre observadores. Puede utilizarse cuando hay más de dos observaciones por sujeto.

Dado que el CCI es una proporción, sus valores oscilan entre 0 y 1, y por tanto la máxima concordancia posible se alcanzaría cuando el $CCI=1$. Su interpretación es bastante subjetiva. En general, se considera que valores por debajo de 0,4 indican baja fiabilidad; cuando se encuentran entre 0,4 y 0,75 una fiabilidad entre regular y buena; y valores superiores a 0,75 se refieren a una fiabilidad excelente.

Supuestos que debe cumplir:

- a) que los métodos evaluados provienen de una muestra al azar de una población de métodos,
- b) que el error de medición es similar para cada uno de los métodos, y
- c) al igual que el coeficiente de Pearson, depende de los valores en estudio. Por ejemplo, si la variabilidad entre estos es muy poca el CCI va a ser bajo, independientemente de que los métodos sean o no concordantes y a mayor variabilidad entre los sujetos, mayor va a ser el CCI, lo que también significa que al depender de la variabilidad de los valores observados, su valor será mayor en muestras heterogéneas.

Una desventaja adicional se relaciona con la dificultad para interpretar sus valores y su traducción a la relevancia desde el punto de vista clínico. (Édgar Cortés-Reyes TF, Et Al, 2010)

- Método de Bland-Altman

Es un método gráfico que se basa en el análisis de las diferencias entre las mediciones individuales por cada método o de cada medición y representa en forma gráfica las diferencias entre dos mediciones del mismo sujeto o fenómeno en el eje de las ordenadas (y) frente a la media obtenida de ambas mediciones en

el eje de las abscisas (x). Esto permite conocer si las diferencias entre los dos métodos son sistemáticas o, al contrario, debidas al azar. Se espera que la diferencia promedio entre dos métodos sea de "0" y que el 95% de las diferencias se encuentren dentro de 1,96 de las desviaciones estándar de dicho promedio. Si estas diferencias no son clínica o biológicamente importantes, los dos métodos pueden considerarse como concordantes e intercambiables. (Édgar Cortés-Reyes TF, Et Al, 2010)

- Coeficiente de concordancia de Lin

Este coeficiente califica la fuerza del acuerdo de una forma más exigente: para variables continuas, la valora como casi perfecta para valores mayores a 0,99; sustancial, de 0,95 a 0,99; moderada, de 0,90 a 0,95 y pobre cuando está por debajo de 0,90.

El CCC, combina una medida de precisión, representada por el coeficiente de correlación (ρ), con una medida de exactitud, representada por el coeficiente de corrección de sesgo (Cb). Permite observar qué tan lejos se desvían los datos observados por dos métodos u observadores de una línea a partir del origen y a 45° en un plano cartesiano, que corresponde a la línea de perfecta concordancia. Este coeficiente aumenta de valor en función de:

a) la cercanía del eje principal o la pendiente de la curva de regresión de las parejas de datos obtenidos en la línea de perfecta concordancia (coeficiente de corrección de sesgo) que permite evaluar la exactitud de los datos obtenidos

b) en función de la dispersión alrededor de la línea de mejor ajuste o línea de regresión de las parejas de los datos obtenidos, siendo éste el reflejo de la precisión de las mediciones obtenidas y corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

El CCC adquiere valores entre -1 (perfecta discordancia) a +1 (concordancia perfecta). En caso de un acuerdo perfecto en términos de precisión y exactitud, el CCC corresponde a un valor de +1. Lo anterior significa que cuando todos los datos obtenidos por ambos métodos caen sobre la línea de concordancia, habrá reproducibilidad perfecta. (Édgar Cortés-Reyes TF, Et Al, 2010).

El coeficiente de concordancia de Lin, a diferencia de los métodos nombrados anteriormente, evalúa la reproducibilidad de los métodos de medición, es decir, garantiza que si se repite el experimento bajo las mismas condiciones, el resultado será el mismo. (Édgar Cortés-Reyes TF, Et Al, 2010).

CAPÍTULO 2: MEDICIONES EN EL CUERPO HUMANO

Valoración postural:

La postura corporal es la relación de las posiciones de todas las articulaciones del cuerpo y su correlación entre la situación de las extremidades con respecto al tronco y viceversa. O sea, es la posición del cuerpo con respecto al espacio que le rodea y como se relaciona el sujeto con ella y está influenciada por factores: culturales, hereditarios, profesionales, hábitos (pautas de comportamiento), modas, psicológicos, fuerza, flexibilidad, etc. (www.rae.es, 2017)

La postura estática es aquella que se da cuando la persona se encuentra lo más quieta posible.

La evaluación o valoración postural estática es un estudio donde se busca determinar los rasgos de la postura y detectar, si las hubiere, desalineaciones posturales que puedan incidir negativamente en la funcionalidad del organismo (Echevarria, 2013).

Goniometría

Goniometría es la técnica de medición de los ángulos creados por la intersección de los ejes longitudinales de los huesos a nivel de las articulaciones

La goniometría en Ciencias Médicas tiene dos objetivos principales:

1. Evaluar la posición de una articulación en el espacio. En este caso, se trata de un procedimiento estático que se utiliza para objetivizar y cuantificar la ausencia de movilidad de una articulación.
2. Evaluar el arco de movimiento de una articulación en cada uno de los tres planos del espacio. En este caso, se trata de un procedimiento dinámico que se utiliza para objetivizar y cuantificar la movilidad de una articulación.

Aplicaciones de goniometría en rehabilitación

En Rehabilitación, se utiliza para determinar el punto de inicio de un tratamiento, evaluar su progresión en el tiempo, motivar al paciente, establecer un pronóstico, modificar el tratamiento o darle un punto final, y, finalmente, evaluar la secuela (Taboadela, 2007).

Arco de movimiento de una articulación

El arco de movimiento es la cantidad de movimiento expresada en grados que presenta una articulación en cada uno de los tres planos del espacio

Características individuales

- Edad: el arco de movimiento es mayor en los niños que en los adultos.

Esta característica va disminuyendo a medida que el niño va creciendo. Esto se debe a la laxitud ligamentosa y al mayor contenido de agua de las estructuras anatómicas. En la vejez, se observa una disminución del arco de movimiento articular.

- Sexo: en general, se puede decir que las mujeres tienen mayor movilidad articular que los hombres debido a una mayor laxitud ligamentosa. Sin embargo, esto no se observa en todas las ocasiones ni en todas las articulaciones ni en todos los planos de movimiento.
- Cultura: se ha comprobado que el tipo de cultura puede influenciar en la amplitud de la movilidad articular, por ejemplo, se ha demostrado un aumento del arco de movimiento en las articulaciones de los miembros inferiores en poblaciones de Arabia Saudita y China que pasan mucho tiempo en posición de cuclillas.
- Entrenamiento: los deportistas y los bailarines profesionales, sobre todo, si el entrenamiento comienza a edad temprana, presentan arcos de movimiento mayores que el resto de la población.
- Complexión física: los individuos obesos o con gran masa muscular presentan arcos de movimiento menores que los individuos delgados debido a que el exceso de tejido impide que la articulación complete todo el recorrido de su arco de movimiento (Taboadela, 2007).

Amplitud de movimiento

El movimiento parcial o total de una articulación se denomina rango de movilidad y puede ser completo (anatómico) o funcional, y corresponde al movimiento necesario para realizar una tarea determinada.

- ✓ Rango de movilidad completo: es el disponible de una articulación determinada y viene definido por su anatomía, en éste participan, tanto la configuración ósea como ligamentosa.

- ✓ Rango de movilidad funcional: es el movimiento que requiere una articulación específica para la realización de actividades de la vida diaria o para cada tarea específica del paciente, por ejemplo para sentarse cómodo son necesarios 90° de flexión de rodilla, pero un rango menor, es funcional.
- ✓ Rango de movilidad patológico: es el rango de movimiento que se encuentra en relación directa con la patología que haya tenido o tiene el paciente. Los tratamientos que plantea el fisioterapeuta se encuentra dentro de este rango (Verónica Moreira & Andrés Panasiuk, 2008).

CAPÍTULO N°3: APLICACIÓN DE LA REALIDAD VIRTUAL EN LA REHABILITACIÓN

La realidad virtual (RV) se puede definir como una simulación del mundo real generada por un software y experimentada mediante una interfaz humano-computador (Ramírez et al., 2014).

Tipos de realidad virtual

En cuanto a los tipos de RV, esta puede subdividirse de modos diversos:

- **Según el tipo de inmersión:**
 - ✓ Realidad virtual inmersiva: Se consigue una inmersión total mediante periféricos (cascos de realidad virtual, gafas, posicionadores), hasta el punto de desaparecer el mundo real.
 - ✓ Realidad virtual seminmersiva: Interactuamos con el mundo virtual, pero sin estar sumergidos en el mismo, por ejemplo a través de un monitor. Este tipo de RV es muy común en videojuegos en la actualidad ya que no requiere ningún hardware especial.
- **Según si es individual o compartida** (www.realidadvirtual.com, 2017)

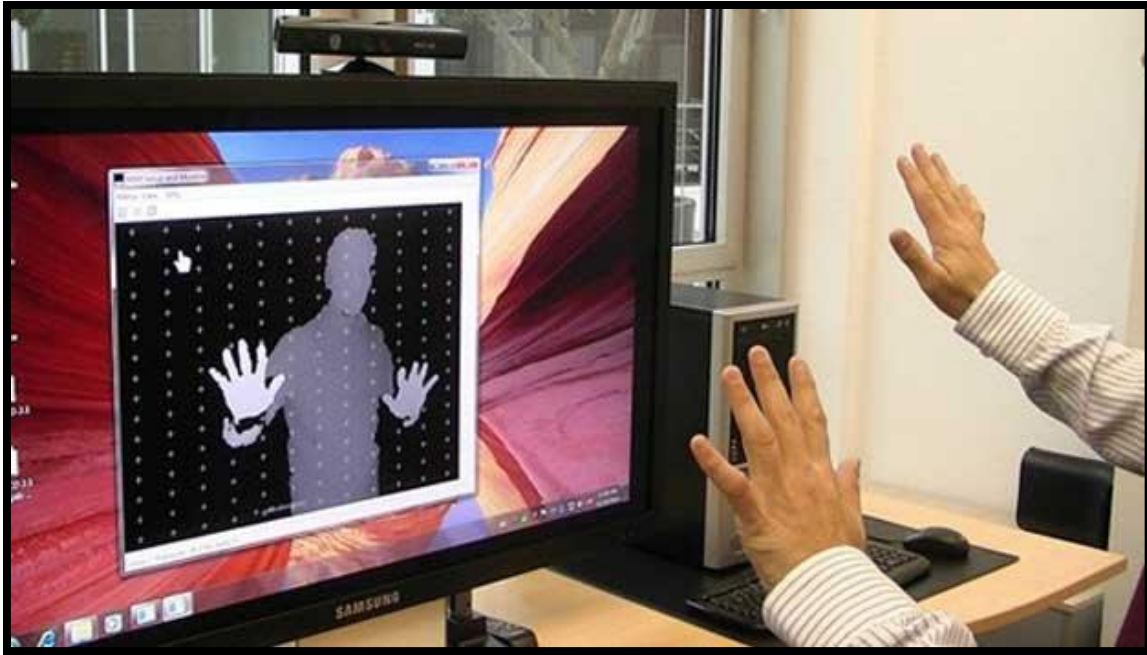


Ilustración 4: realidad virtual⁴

Realidad virtual en la rehabilitación

En la rehabilitación motora, la RV se emplea como una herramienta de rehabilitación y evaluación en programas de entrenamiento del equilibrio, la postura y la marcha, activación de las funciones en los miembros superiores, terapias de tolerancia al ejercicio y al dolor, evaluación de actividades de la vida diaria y evaluación de negligencias visuales posteriores a un accidente cerebro vascular (ACV).

En un proceso de rehabilitación motora exitoso se destacan tres aspectos fundamentales: repetición, motivación y retroalimentación. Para aprender a realizar un movimiento, este debe ser ejecutado repetidamente para la memorización y el aprendizaje motor, ya que estimula la reorganización neuronal. La motivación es un aspecto donde la terapia a través de RV suele destacarse, debido a la forma como se puede presentar un ejercicio, resultando agradable para el usuario. En un videojuego se plantean distintas metas a cumplir, las cuales dan una retroalimentación al usuario de estar realizando un movimiento de forma correcta o no. Si tales objetivos son planteados correctamente entonces representan un reto al usuario, generando una motivación para lograr el objetivo. Esto permite realizar las repeticiones necesarias para estimular la reorganización cerebral y así, memorizar el movimiento. Los ejercicios terapéuticos propuestos usando RV suelen ser totalmente configurables y, en los ambientes virtuales (AV)

⁴ Imagen obtenida de "<https://m.genbetadev.com/herramientas/disponible-el-sdk-de-kinect-para-desarrollar-nuestras-propias-aplicaciones-usando-los-sensores>" última visita: 03/2017

generados se da especial atención a los puntos clave del ejercicio, eliminando los posibles agentes distractores que puedan degradar la calidad de la terapia (Ramírez et al., 2014).

Ventajas de la utilización de realidad virtual en rehabilitación

Algunas de las ventajas de la utilización de la realidad virtual en la rehabilitación:

- El uso de videojuegos para la salud, en un centro de rehabilitación física resulta una metodología complementaria a los procesos de rehabilitación convencionales, añadiendo aspectos de motivación, entretenimiento y distracción de dolor en pacientes con múltiples patologías (Muñoz-Cardona, Henao-Gallo, & López-Herrera, 2013).
- La rehabilitación apoyada bajo realidad virtual comprende un complemento terapéutico eficaz que mejora en tiempo y forma los resultados del tratamiento.
- Los programas de realidad virtual favorecen la adherencia al tratamiento, ofrecen un entorno seguro para realizar la rehabilitación y tienen pocos efectos adversos.
- Se trata de herramientas que facilitan la inserción social del paciente, otorgándole una mayor autonomía para la realización de tareas de la vida diaria y ayudando a mejorar su calidad de vida (Letona, Facultad, & Pedro, 2014).
- La terapia con RV produce cambios en la corteza sensorial-motora del cerebro, las cuales se relacionan con la mejora de las habilidades motrices de las extremidades afectadas por enfermedades causantes de la discapacidad (Muñoz-Cardona et al., 2013).

Proyecto Motmi®

Motmi® (motmi.rehab/es) es una plataforma de rehabilitación virtual desarrollada por la empresa Geminus-Qhom basada en tecnología de detección y reconocimiento de movimientos que permite controlar y registrar la ejecución de actividades, basados en un plan de rehabilitación prefijado, dentro de un ambiente tridimensional lúdico.

Motmi® a través de los sensores de Kinect 2, representa en tiempo real, al paciente a través de un avatar tridimensional dentro del ambiente de trabajo.

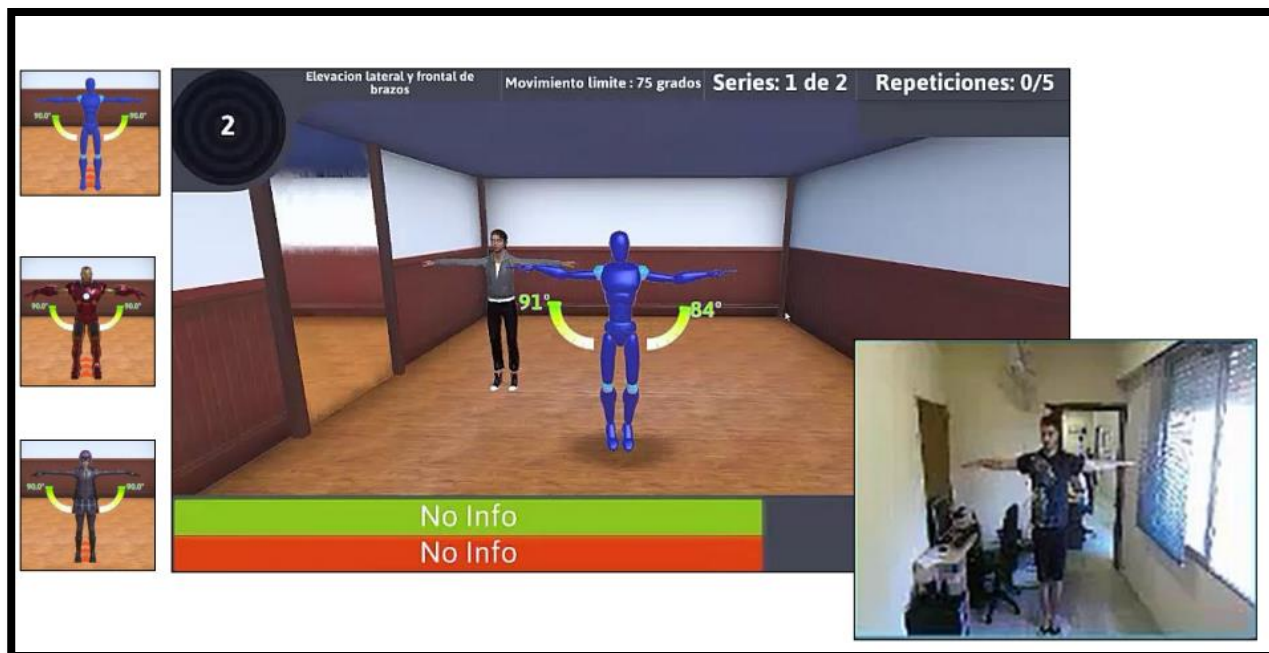


Ilustración 5: vista de la plataforma Motmi®

Procedimiento de la terapia

- 1) El profesional crea un plan personalizado de rehabilitación
- 2) El paciente realiza el plan a través de ejercicios y juegos
- 3) El profesional revisa y ajusta el plan de rehabilitación
- 4) El paciente utiliza el plan ajustado
- 5) El profesional da el alta cuando el paciente está recuperado

Modos de funcionamiento

Las actividades dentro de Motmi® pueden ser configuradas en diversos modos de funcionamiento, dependiendo del paciente, plan de rehabilitación y patología a tratar.

- **Ejercicio:** se debe realizar el movimiento indicado en el plan de rehabilitación
- **Lúdico:** se debe realizar el mismo movimiento indicado en el plan, representado por acciones dentro de un juego
- **Entrenamiento:** se debe realizar el movimiento indicado en el plan de rehabilitación, compitiendo con el kinesiólogo virtual.
- **Mini juego:** actividades lúdicas especiales para el tratamiento de diversas patologías.

Motmi® permite configurar la descripción de cada ejercicio, junto con la consiga a lograr por el paciente (tolerancia, velocidad, repeticiones, ángulos, etc.).

Análisis de error en mediciones del cuerpo humano con el dispositivo Kinect 2

Cada ejercicio se subdivide en movimientos, los cuales son indicados por Motmi® al momento en que el paciente los realiza, indicando la próxima posición a ejecutar, como así también las posturas correctas y alertando sobre las incorrectas que se deben evitar.



Ilustración 6: ejercicio de Motmi®

El paciente en todo momento podrá visualizar un kinesiólogo virtual (avatar tridimensional), quien ejemplifica la realización de los movimientos, a fin de que el paciente lo imite.

A su vez Motmi® permite la visualización real de los movimientos del paciente a modo de espejo.

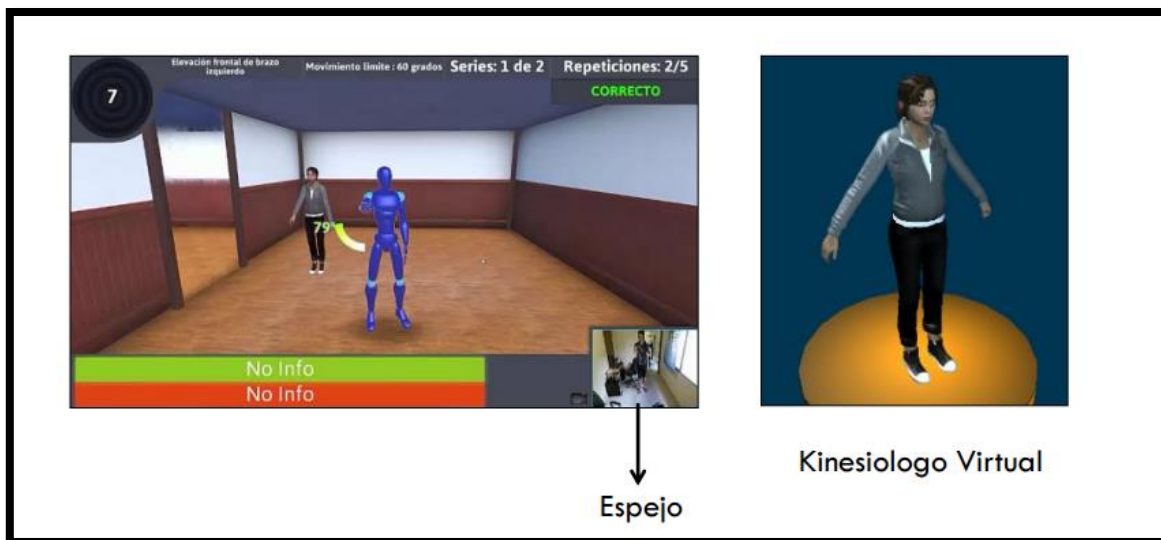


Ilustración 7: movimientos en espejo

Principales ventajas

- Módulo Paciente - Módulo Central y Modulo Móvil
- Planes de rehabilitación configurables transversales a distintas patologías
- Configuración de tiempos, tolerancia, velocidad, repeticiones, ángulos, etc.
- Monitoreo remoto y en línea con alarmas visuales
- Entorno virtual y lúdico personalizado
- Visualización de consignas y explicación de ejercicios
- Kinesiólogo virtual - Imitación con avatar en 3D
- Técnica del espejo
- Estadísticas de trabajo
- Explicación paso a paso del paciente
- Diferentes modos de trabajo (ejercicio, entrenamiento, lúdico y mini juegos)
- Tele-rehabilitación
- Bajo costo de equipamiento
- Utilización de sensores comerciales de bajo costo. (Ricardo Ruival, 2016)

CAPÍTULO N°4: MÉTODOS ACTUALES DE MEDICIONES EN EL CUERPO HUMANO Y MÉTODO A IMPLEMENTAR

Métodos actuales de medición angular

Goniómetro

El goniómetro es el principal instrumento que se utiliza para medir los ángulos en el sistema osteoarticular.

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

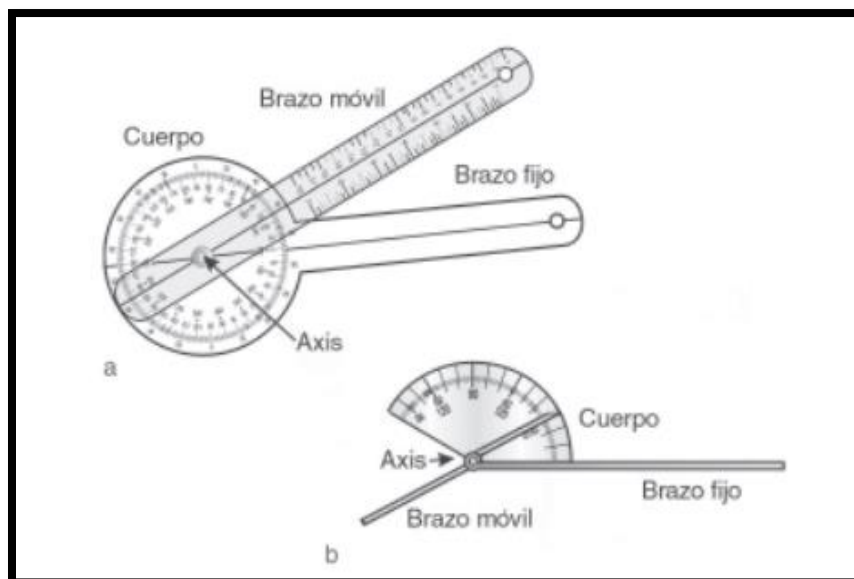


Ilustración 8: goniómetro⁵

- Electrogoniómetro

Los electrogoniómetros son sofisticados instrumentos electrónicos, de alto costo, que utilizan electrodos a nivel del eje, del brazo proximal y distal, y que registran la medición a través de un software en la pantalla de una computadora. Se utilizan fundamentalmente para investigación.

- Inclinómetro

⁵ Imagen obtenida de: C. Taboadela "Goniometría una herramienta para la evaluación de las incapacidades" Buenos Aires: Asociart ART, 2007 Pág.: 29.

El inclinómetro es un instrumento de medición de ángulos que se utiliza cuando no es posible aplicar correctamente el goniómetro, como en la medición de la flexión-extensión de la columna lumbar, o bien, cuando se dificulta la determinación de reparos óseos, como en la medición de la inversión-eversión del retropié.

El inclinómetro es un tipo de goniómetro que utiliza la fuerza de gravedad como punto de referencia para su calibración. De esta manera, la posición inicial de medición no depende de la apreciación visual, como sucede con el goniómetro, y puede ser repetida sin problemas, debido a que la fuerza de la gravedad es una constante.

Existen dos tipos de inclinómetros:

- a) Los mecánicos, que se subdividen en inclinómetros de fluido y de péndulo
- b) los electrónicos o electroinclinómetros. (Taboadela, 2007)

Método de medición de la postura

- Plomada: Instrumento, formado por una pesa de metal colgada de una cuerda, que sirve para señalar la línea vertical. A partir de esto, se observa si el cuerpo está corrido de la línea vertical.
- Láser: el modo de funcionamiento es igual al de la plomada, solo que aquí en lugar de la plomada, se dibuja una línea vertical de láser y la ubica al paciente justo al medio, y se observa si existe desviación.
- Fondo cuadrículado: se ubica al paciente delante de la cuadrilla y se observan las diferencias de acuerdo a las líneas de la cuadrilla.
- Software: se toma una fotografía del paciente, ubicando con marcadores los reparos anatómicos a analizar, se pone una referencia de una distancia conocida, y luego se lo analiza en aplicaciones informáticas especiales para análisis de imágenes (Echevarria, 2013). Un ejemplo es el GeoGebra.

GeoGebra es un software matemático interactivo libre para la educación en colegios y universidades.

Es básicamente un procesador geométrico y un procesador algebraico, es decir, un compendio de matemática con software interactivo que reúne geometría, álgebra y cálculo, por lo que puede ser usado también en física, proyecciones comerciales, estimaciones de decisión estratégica y otras disciplinas.

Su categoría más cercana es software de geometría dinámica.

GeoGebra permite el trazado dinámico de construcciones geométricas de todo tipo así como la representación gráfica, el tratamiento algebraico y el cálculo de funciones reales de variable real, sus derivadas, integrales, etc. (Hohenwarter, 2017)

Método alternativo a implementar

Kinect 2

Kinect 2 (developer.microsoft.com, 2017) es una plataforma de videojuegos adaptable al X-Box 360 creado por Microsoft, el cual brinda una experiencia de juego sin controles, en donde los jugadores sin necesidad de usar ningún tipo de periférico, utilizan los movimientos y gestos de su cuerpo, así como su voz para desenvolverse en los diferentes entornos de juego. El Hardware del sensor Kinect es un arreglo de múltiples dispositivos electrónicos (Muñoz-Cardona et al., 2013):

- una cámara RGB estándar de 1920×1080 de resolución, @30 fps (cuadros por segundo) y alta definición.
- una cámara de profundidad infrarroja de 512×424, Distancias de 0.5 a 4.5 metros.
- Capacidad para detectar 6 cuerpos, todos completamente rastreados. Por cuerpo rastreado, capaz de identificar 25 articulaciones. Se denomina BodySource.
- un proyector de láser infrarrojo.
- un arreglo de micrófonos (www.edwinnui.wordpress.com, 2017)

Para poder utilizar Kinect 2, es necesario que exista una computadora con la que se comunica para proyectar las imágenes.

Para detectar a la persona Kinect 2 debe:

- 1) Medir la distancia que hay entre el jugador y la cámara, y la distancia a otros puntos de tu cuerpo, lo representa y luego dibuja un esqueleto rudimentariamente.
- 2) Después comienza a averiguar que parte del cuerpo es cual. Se basa en la experiencia que tiene reconociendo otro cuerpo.
- 3) Luego, basándose en las probabilidades asignadas a diferentes áreas, Kinect empieza a dibujar un esqueleto con esas partes del cuerpo que ha reconocido, por ultimo escoge el que podría ser el más probable, su razonamiento está basado en experiencia y parte en modelos de kinematics que agregaron los programadores.

- 4) Una vez determinadas las partes del cuerpo y escogido el esqueleto más probable, empieza a darle forma a un avatar muy simple en 3D. (Arbelaez, 2016)

Mediciones con Kinect 2 en Motmi®

Dentro del proyecto Motmi®, existe la actividad de “valoración estática parado” en la cual se miden aquellos parámetros de importancia en un estudio de valoración postural estático y en un estudio goniométrico, como así también cualquier otro punto de interés que se desee estudiar.

Para realizar las mediciones, Kinect 2 detecta las articulaciones indicándolas con un punto, y luego las une a través de líneas para formar el esqueleto. La actividad está dispuesta de tal manera que el esqueleto propuesto por Motmi® se encuentre sobre la imagen real de la persona, y no representada por el avatar.

Luego de dibujar el esqueleto, Motmi® calcula los ángulos y las distancias entre los puntos que considere de importancia el profesional de la salud y luego toma la fotografía. Los datos presentados en pantalla, pueden ser modificados por el profesional de la salud. Además se puede acceder a la información en forma de archivo.

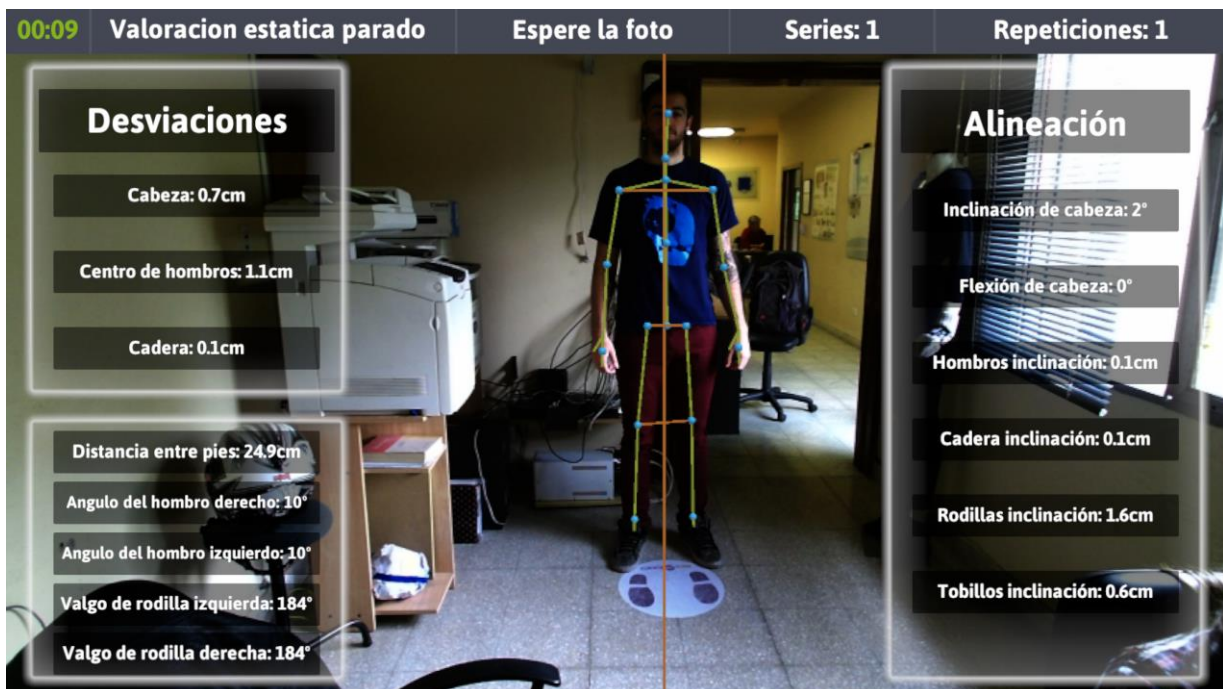


Ilustración 9: ejemplo de ejercicio de evaluación estática con Motmi®

MATERIALES Y MÉTODOS

En esta parte del trabajo, se explicará de manera detallada el procedimiento a seguir para cumplir con los objetivos que se plantearon al inicio del trabajo.

CAPÍTULO N°5: BENEFICIOS QUE INTRODUCE KINECT 2 EN RELACIÓN AL MÉTODO TRADICIONAL

El estudio en cuestión se realiza ya que existen muchos beneficios en la utilización de la Kinect 2 en el marco del proyecto Motmi® para realizar la valoración estática de los pacientes. A continuación se hará mención de ellos.

- Ahorro de tiempo: en la valoración estática tradicional, la consulta y análisis dura aproximadamente una hora, mientras que con Motmi®, el tiempo puede reducirse a algunos pocos minutos.
- Disminución de instrumentos de medición: para realizar el estudio hoy, son necesarios diferentes instrumentos de medición, mientras que con Motmi®, solo se necesita la Kinect 2.
- Análisis de datos: al ser un método informático, la información obtenida se puede analizar de acuerdo a los requisitos de cada profesional, es decir: el kinesiólogo pide la información que quiere recibir de las mediciones y luego se programa Motmi® para que al término del estudio reciba los datos que requiere.
- Eliminación de errores de reproducibilidad: al ser un método automático, no se introducen errores que tengan que ver con la habilidad del operador de realizar o interpretar la medición.
- Fomentar la realización de mediciones: muchas veces, en los centros de rehabilitación no se realiza una rutina de seguimiento de la evolución de los pacientes o de diagnóstico del grado de lesión a través de mediciones, debido a la falta de practicidad de los instrumentos tradicionales. Al tener Motmi® una manera mucho más sencilla y rápida, fomenta la realización de un diagnóstico o seguimiento de paciente de manera cuantitativa. Esto también permite que un paciente pueda ser tratado con diferentes profesionales dentro de su tratamiento de rehabilitación, debido que a que existe un registro de su evolución.

CAPÍTULO N°6: PROTOCOLOS A UTILIZAR PARA EL PROYECTO

Es muy importante realizar protocolos que dejen determinado los pasos a seguir en este tipo de análisis, ya que así, cualquier persona ajena, que quiera repetir el estudio, o estudiar el caso, pueda hacerlo de la misma manera y saber que si existen discrepancias son por errores en el método mismo y no por haber realizado un proceso distinto.

Los protocolos fueron desarrollados para el fin de este proyecto, por las personas implicadas en el mismo, es decir, autor, asesores, personal de la empresa y de más colaboradores.

Los protocolos que se incluyen son:

- Protocolo de medición: en el mismo se detalla qué instrumentos se utilizan y de qué manera se utilizan. A su vez también se indica aquí el grupo de mediciones a realizar y la importancia de cada una. Por último se expresa la forma en que deben ser tomadas las mediciones para lograr su independencia.
- Protocolo de validación: se explica el proceso estadístico con el cuál se analizaran los datos y la justificación de dicha elección.
- Protocolo de recomendaciones de uso de Motmi®: se aclaran los puntos a tener en cuenta en el momento de realizar la valoración estática con Motmi® para que las mediciones salgan de la mejor manera.

Protocolo de medición

Alcance

- ✓ Describir los instrumentos de medición a utilizar.
- ✓ Indicar los pasos a seguir para su correcta utilización.
- ✓ Descripción de las mediciones a realizar para determinar si Kinect 2 realiza con la misma calidad todas las mediciones.
- ✓ Descripción de las mediciones a realizar para determinar si una diferencia de altura en pacientes modifica el resultado de la medición.
- ✓ Descripción de las mediciones a realizar para determinar si una diferencia de distancia a la cámara modifica el resultado de la medición.
- ✓ Descripción de mediciones a realizar para determinar la precisión y exactitud del método.

Especificación y características de los métodos de medición

- ✓ Goniómetro:

Análisis de error en mediciones del cuerpo humano con el dispositivo Kinect 2

- Tipo de dispositivo: analógico.
 - Longitud del brazo fijo: 18 centímetros.
 - Longitud del brazo móvil: 18 centímetros.
 - Resolución en medición de ángulos: 1 grado.
 - Rango de medición: 360°.
- ✓ Kinect 2:
- Cámara RGB estándar de 1920x1080 de resolución, @30 fps (cuadros por segundo) y alta definición.
 - Cámara de profundidad infrarroja de 512x424, Distancias de 0.5 a 4.5 metros.
 - Capacidad para detectar 6 cuerpos, todos completamente rastreados. Por cuerpo rastreado, capaz de identificar 25 articulaciones. Se denomina BodySource.
 - un proyector de láser infrarrojo.
 - un arreglo de micrófonos.
 - Resolución en medición de ángulos: 1 grado.
 - Resolución en medición de distancia: 0.1 centímetro.
- ✓ GeoGebra:
- Tipo de dispositivo: software libre de matemática dinámica.
 - Versión: GeoGebra 5.0.
 - Resolución en ángulos: La resolución es tan pequeña como se desee, ya que al ir aumentando el zoom en el software la división entre dos puntos consecutivos disminuye. Para los fines del proyecto entonces, se utilizará una resolución de 0.01 grados.
 - Resolución en distancia: Ídem ítem anterior.

Cuestiones técnicas a tener en cuenta durante la medición

Existen diferentes cuestiones y protocolos que se deben seguir para que los resultados sean de mejor calidad y de esta manera eliminar posibles errores aleatorios en los diferentes métodos.

En primer lugar, es necesario que el paciente se encuentre desvestido, o con ropa bien pegada al cuerpo. Este punto es compartido en los tres métodos y se explicará la razón a continuación para cada uno de ellos:

- 1) En goniometría es importante que el paciente se encuentre desvestido o con ropa adherida al cuerpo para poder encontrar con facilidad los reparos óseos necesarios para realizar el examen y para poder seguir las ramas fijas y móviles.
- 2) En el análisis gráfico con GeoGebra, es significativo para que los marcadores utilizados no pierdan su posición debido a movimientos de la vestimenta.
- 3) En las mediciones con Kinect 2, es primordial ya que los pliegues de la ropa pueden alterar el proceso de reconocimiento de los reparos óseos, y colocar el punto de articulación en un lugar equivocado.

Por otro lado, con respecto a Kinect 2 propiamente dicho, es necesario que la persona se encuentre mirando al frente y no a la cámara, de esta manera se evitan errores en las mediciones de cabeza. Además, es importante que en el proceso de captura de imagen la persona se encuentre quieta, para no incluir fallas a causa de cambios de posición, ya que el reconocimiento del esqueleto, la determinación de los valores de las medidas y la captura de la imagen, se realizan en diferentes momentos.

Pasos a seguir para realizar la medición con cada método

✓ Goniómetro

Es necesario aclarar que la forma de medición cambia de acuerdo a cada articulación. A continuación se explicará el procedimiento de manera general. El método que se empleará será el del “cero neutro”. La posición de medición comienza a partir de la posición 0, también conocida como posición neutra. Se lo considera el método de elección y el Gold Standard en la actualidad.

1) Estabilización del segmento proximal

La estabilización del componente proximal de una articulación impide que este se desplace durante el examen y permite la libre movilidad del segmento distal. De esta manera, se evita que se sumen los movimientos de la articulación proximal a la examinada.

2) Palpación e identificación de los reparos anatómicos óseos

Los reparos anatómicos óseos son eminencias óseas palpables que se utilizan como punto de reparo para la alineación de los brazos del goniómetro. La identificación de estos reparos óseos se hace a través del conocimiento de la anatomía de superficie, de la estimación visual y de la palpación. Para poder comparar resultados, los reparos óseos deben estar estandarizados

previamente. La inadecuada identificación de estos reparos óseos conlleva a una fuente de error en la medición.

3) Alineación del goniómetro con los reparos óseos palpables

El goniómetro debe alinearse, inicialmente, con la articulación en posición 0. El eje del goniómetro debe colocarse sobre el reparo óseo correspondiente al eje de movimiento de la articulación que se examinará. El brazo fijo debe alinearse con la línea media longitudinal del segmento proximal de la articulación que se examinará, tomando como reparo la eminencia ósea palpable proximal correspondiente. El brazo móvil debe alinearse con la línea media longitudinal del segmento distal de la articulación que se examinará, tomando como reparo la eminencia ósea palpable distal correspondiente.

4) Medición del arco de movimiento articular

La medición del arco de movimiento articular comienza con el goniómetro alineado sobre la articulación que se examina en posición 0. Cuando se efectúa el movimiento, el brazo fijo queda aplicado sobre la línea media del segmento proximal tomando como referencia el reparo óseo palpable proximal, mientras tanto, el eje del goniómetro queda aplicado sobre el reparo correspondiente al eje de movimiento articular, y el brazo móvil acompaña el movimiento del segmento distal, manteniendo la alineación con la línea media longitudinal y el reparo óseo distal. (Taboadela, 2007)

5) Anotar el resultado de la medición en una grilla, donde quede correctamente determinado el número de medición y el valor de la misma, para luego aparear los datos con los de la Kinect 2.

6) Descalibrar el goniómetro

Antes de realizar una nueva medición, se deben mover los brazos del goniómetro, para intentar garantizar la independencia de las mediciones.

✓ Kinect 2

- 1) Abrir el programa de Motmi® y elegir el ejercicio de “valoración estática parado”.
- 2) Ubicar a la persona al frente de la cámara e indicarle la posición que se desee estudiar.
- 3) Poner “comenzar ejercicio”.
- 4) Una cuenta regresiva comenzará, en ese momento la persona que está siendo medida debe quedarse quieta ya que en ese momento la Kinect 2 está tomando sus datos.

- 5) Al finalizar la cuenta regresiva Kinect 2 tomará la fotografía y el ejercicio termina.
- 6) Los datos se verán en pantalla, y también se guardará un archivo con los mismos.
- 7) Antes de realizar una nueva medición, la persona deberá moverse de su posición y luego volver a ubicarse para que cada medición sea independiente.

A modo de ejemplo, se incluirá una medición con Motmi®



Ilustración 10: ejemplo de medición con Motmi®

✓ GeoGebra

1) Ubicación de marcadores

Se deben ubicar marcadores en las articulaciones que se quieran estudiar con el software. Es importante que sean puntuales, reconocibles y exactos, para evitar errores a posterior. Para su ubicación se siguió el protocolo de colocación de marcadores de Davis. (Adriana Villa Moreno, 2008)

2) Escalar el espacio

Análisis de error en mediciones del cuerpo humano con el dispositivo Kinect 2

Ubicar, a la misma distancia de la cámara de donde se ubicará el paciente, una referencia de distancia conocida, por ejemplo, para la realización del presente trabajo se utilizó una cinta de un metro.

3) Realizar el ejercicio de Kinect 2 y guardar la fotografía sin el esqueleto que propone Motmi®, para luego poder analizar las distancias con respecto a los marcadores que se han puesto.

4) Abrir el software e importar la imagen que se desea analizar

5) Escalar la imagen

El software posee un eje cartesiano, se debe elegir la escala de tal manera que concuerde con la referencia de distancia que se puso en la fotografía. Siguiendo con el ejemplo de la cinta de un metro, hacer que el tamaño de la cinta de un metro, corresponda a 100 lugares del eje cartesiano (serían 100 centímetros).

6) Fijar la imagen

Es importante fijar la imagen para que no se pierda la escala por error.

7) Ubicar sobre los marcadores puntos de referencia.

8) Calcular la distancia entre ellos.

9) Anotar el resultado de la medición en una grilla, donde quede correctamente determinado el número de medición y el valor de la misma, para luego aparear los datos con los de la Kinect 2.

A modo de ejemplo, se incluirá una medición con GeoGebra.

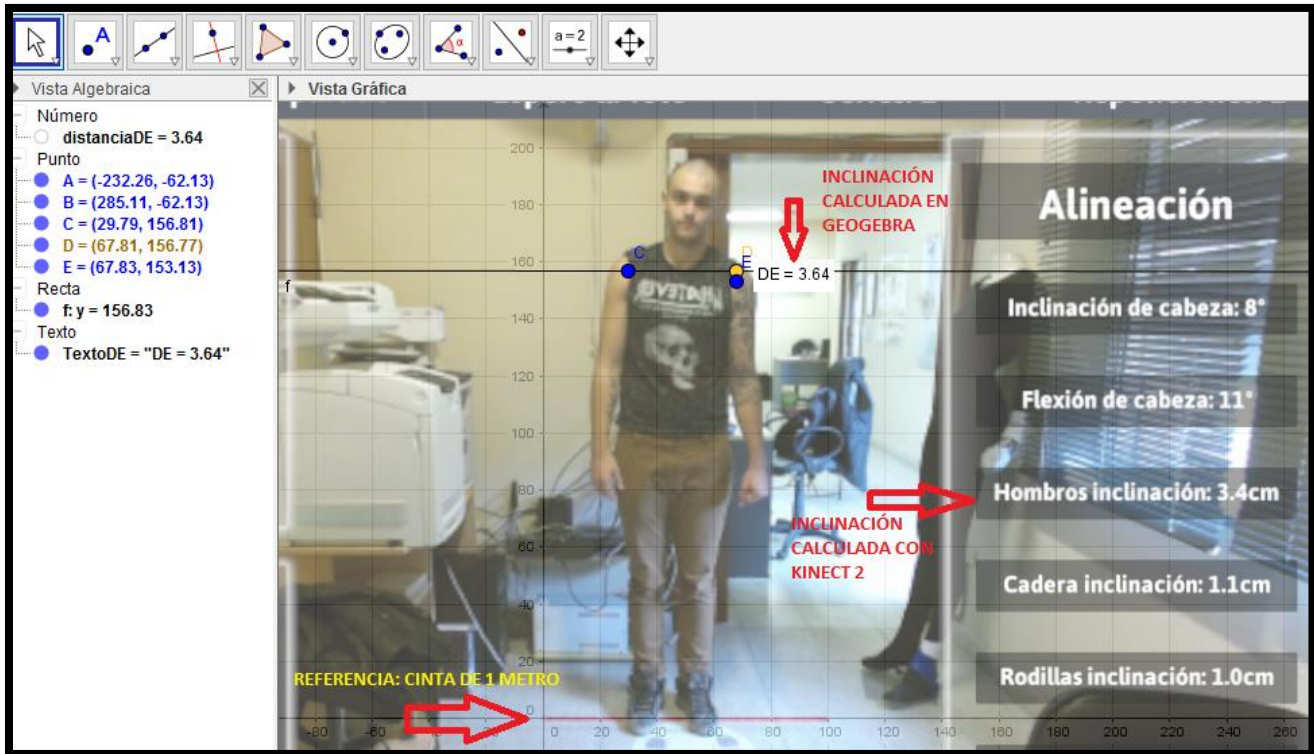


Ilustración 11: medición con GeoGebra

Organización de los datos

Luego de haber realizado las mediciones con cada método, se deben ubicar los mismos en una lista donde quede bien determinado el número de medición, el valor obtenido por el método tradicional y el valor obtenido con la Kinect 2. Se debe tener mucho cuidado para no confundir el orden de los datos y que las mediciones dejen de estar apareadas.

Mediciones a realizar

Población a estudiar: personas que realicen un proceso de rehabilitación utilizando la tecnología de Motmi®.

Con el objetivo de mitigar la mayor cantidad de inquietudes acerca de si es posible efectivamente realizar una valoración estática con la Kinect 2 en lugar de utilizar los métodos tradicionales, se realizaron mediciones que logren comparar los instrumentos en diferentes situaciones. Las mediciones a efectuar se indican a continuación:

- Mediciones a 3 metros de distancia a un hombre de 1.85 metros de altura de:

Análisis de error en mediciones del cuerpo humano con el dispositivo Kinect 2

- ✓ Abducción de hombro derecho
- ✓ Inclinación de la cabeza
- ✓ Valgo fisiológico de rodilla
- ✓ Inclinación de hombros

Este grupo de mediciones se realiza para determinar si la Kinect 2 mide de manera fiel en las diferentes partes del cuerpo.

- Mediciones a 3 metros de distancia a una mujer de 1.60 metros de altura de:

- ✓ Abducción de hombro derecho

Este par de mediciones se realiza para determinar si una diferencia de altura entre pacientes modifica las mediciones con Kinect 2.

- Mediciones a 2 metros de distancia a un hombre de 1.85 metros de altura de:

- ✓ Abducción de hombro derecho.
- ✓ Inclinación de la cabeza

Este grupo de mediciones se realiza para determinar si una diferencia entre la distancia de la persona a medir y la cámara introduce errores de medición.

- Medición a un maniquí a 3 metros de distancia de:

- ✓ Abducción de hombro derecho
- ✓ Abducción de hombro izquierdo
- ✓ Inclinación de hombros
- ✓ Inclinación de cadera

Este grupo de mediciones se realiza para determinar la precisión de la Kinect 2.

Cada grupo de mediciones, incluye entre 20 y 55 repeticiones, dependiendo el caso. El objetivo de esto es que al ser más grande la muestra será más representativa de la población a estudiar.

Todas las mediciones (excepto las mediciones al maniquí) se realizarán simultáneamente con el instrumento de medición tradicional y con el instrumento

alternativo (Kinect 2), es decir, los datos serán apareados, para poder compararlos posteriormente a través de los métodos estadísticos pertinentes. Es necesario que se realice de esta manera, ya que sería imposible que una persona pueda reproducir el mismo movimiento en dos momentos diferentes, por lo tanto si se midieran en diferido se estarían mensurando cosas distintas y la comparación no sería apropiada.

Características de las personas a medir

SEXO	EDAD	ALTURA (m)	PESO (kg)
MASCULINO	22	1.85	87
FEMENINO	34	1.61	50

Tabla 1: descripción de personas a medir

Protocolo de validación para determinar si Kinect 2 es una alternativa válida para realizar mediciones en rehabilitación

Alcance

- ✓ Determinar la correlación lineal y la concordancia entre los métodos de medición
- ✓ Determinar la exactitud de la Kinect 2.
- ✓ Determinar la precisión de la Kinect 2.

Pasos a seguir para determinar la concordancia entre los métodos

- 1) Determinar la normalidad de los residuos

Los residuos son la diferencia entre la medición con un instrumento y con el otro.

Para determinar la normalidad de los residuos se utilizará la prueba de hipótesis de Shapiro-Wilks modificado. Luego, se realizará un histograma con los datos para una visión gráfica de la distribución de los residuos.

- 2) Realizar un estudio de regresión lineal de los datos

- ✓ Estudiar la ecuación de la recta de correlación entre los datos.
- ✓ Analizar el grafico de dispersión de las dos variables.
- ✓ Analizar el grafico de los residuos.

3) Calcular el coeficiente de correlación de Pearson

Estudiar su resultado, que determina que tanto se relacionan las variables y que tanto se ajustan a la ecuación de la recta propuesta por la regresión lineal.

4) Calcular el coeficiente de concordancia de Lin

Estudiar su resultado de acuerdo al tema estudiado en el marco de este trabajo.

Pasos a seguir para la determinación de la exactitud de las mediciones de la Kinect 2 con respecto a los instrumentos tradicionales utilizados como valores de referencia

1) Determinar el sesgo de las mediciones

Para determinar el sesgo de las mediciones se calculará la media de los residuos y su desviación estándar.

2) Estudiar el resultado del sesgo obtenido en el ítem anterior.

Pasos a seguir para el estudio de la precisión de las mediciones con la Kinect 2

1) Determinar la precisión en condiciones de repetibilidad de la Kinect 2.

Calcular el promedio y la desviación estándar de los datos obtenidos de las mediciones con el maniquí e interpretar sus resultados.

Interpretación de los resultados

Realizar una interpretación global de los resultados obtenidos teniendo en cuenta la aplicación y el alcance de la aplicabilidad de acuerdo a las características en las cuales se realizó la comparación.

Herramienta estadística

Para la realización de las pruebas se utilizará el software estadístico InfoStat (www.infostat.com.ar).

Justificación del método de validación elegido

Análisis de normalidad de los residuos: es estrictamente necesario que las muestras sigan una distribución normal para que se pueda realizar una correlación lineal o calcular el coeficiente de concordancia de Lin.

Correlación lineal: se decidió realizar una correlación lineal para determinar la relación entre las mediciones de los distintos instrumentos, poder estudiar a que recta se ajustan y si los datos pierden linealidad a lo largo del rango de medición.

Coefficiente de concordancia de Lin: dentro de todas las opciones, se optó por este coeficiente, ya que es el único que garantiza la reproducibilidad del método.

Análisis de exactitud: se lo incluyo dentro del protocolo ya que es muy importante saber la discrepancia que existe entre las mediciones con los diferentes instrumentos.

Análisis de precisión: se estudió solamente la repetibilidad, ya que en el caso de la Kinect 2 la reproducibilidad de las mediciones no es un problema, debido a que al ser un método automático no existen errores introducidos por una mala utilización del instrumento.

Protocolo de recomendaciones de uso de Motmi®

Alcance

- ✓ Explicar las recomendaciones sobre las condiciones a cumplir para la utilización de la Kinect 2 para realizar la valoración estática en el marco del proyecto Motmi®.

Condiciones ambientales

- ✓ Iluminación estándar, se recomienda que sea artificial para evitar los rayos ultravioleta introducidos por la luz natural que afectan el haz infrarrojo que utiliza el dispositivo para el proceso de captura de imagen.
- ✓ Espacio suficiente para que Kinect 2 pueda captar todo el cuerpo humano.
- ✓ Se recomienda que no haya figuras o elementos (maniqués, muñecos, etc.). atrás de donde se posicionará el paciente ya que Kinect 2 puede confundirse y tomar eso como una persona.
- ✓ Espacio suficiente para el posicionamiento de Kinect 2 y de una computadora donde se puedan visualizar los resultados.

Análisis de error en mediciones del cuerpo humano con el dispositivo Kinect 2

- ✓ Se recomienda que la Kinect 2 se encuentre a una altura entre 1 y 2 metros del suelo, sin embargo puede regularse según necesidad.
- ✓ No exponer a temperaturas extremas.

Condiciones de la persona a medir

- ✓ Se recomienda no utilizar ropa brillante (reflectiva) ya que puede interferir en la captura de la imagen.
- ✓ Se aconseja no utilizar ropa suelta para que el dispositivo no ubique de manera errónea los reparos anatómicos.

CAPÍTULO N°7: DETERMINACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS RESIDUOS

Luego de haber realizado las mediciones siguiendo estrictamente el protocolo propuesto, se procederá a analizar los datos. Las tablas con las diferentes mediciones se pueden encontrar en el anexo del trabajo.

Para determinar la normalidad, se realizará una prueba de *hipótesis de Shapiro Wilks modificado* en los residuos de cada par de mediciones.

Para completar el análisis se realizará un histograma para una visión grafica de la normalidad de los datos.

La hipótesis nula y la hipótesis alternativa serán respectivamente:

- ✓ H_0 = la muestra tiene distribución normal
- ✓ H_1 = la muestra no tiene distribución normal

El intervalo de confianza que se tomará será de $\alpha = 0.05$

La muestra será normal si y sólo si, el valor de p que se calcule en la prueba de hipótesis sea mayor que α . Es decir:

$$P \geq \alpha$$

Si esto se cumple, no rechazaremos la hipótesis nula.

Caso 1: abducción de hombro derecho a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Shapiro-Wilks (modificado)					
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
residuos	53	0,79	2,91	0,95	0,0962

Ilustración 12: prueba de normalidad del caso 1

Para determinar la normalidad se debe comparar el valor de “p” con el valor de α .

- ✓ $p = 0.962$
- ✓ $\alpha = 0.05$

- ✓ Entonces, $p > \alpha$, por lo tanto no rechazamos la hipótesis nula, y concluimos que existe una gran probabilidad de que la población responda a una distribución normal.

Ahora, se incluirá el método grafico del histograma para corroborar la distribución normal de los residuos.

Gráfico del histograma

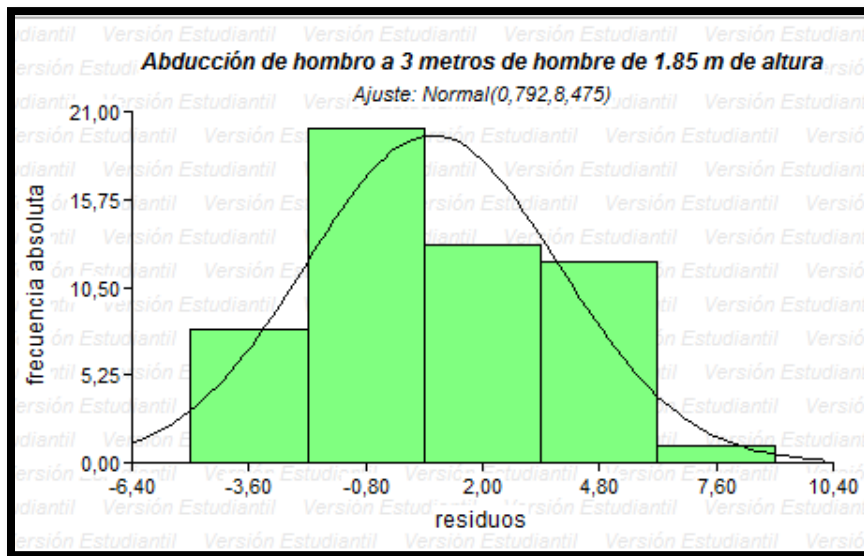


Ilustración 13: histograma del caso 1

En el grafico se muestra la línea normal a la cual tienden los residuos en este caso, como se observa, el modelo se ajusta bien a la normal propuesta.

Caso 2: inclinación de cabeza a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Análogo al caso anterior

Shapiro-Wilks (modificado)					
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
residuos	47	-2,13	2,47	0,94	0,0710

Ilustración 14: prueba de normalidad del caso 2

- ✓ $p = 0.071$

- ✓ $\alpha = 0.05$
- ✓ $p > \alpha$,

Por lo tanto, se cumple H_0 , la muestra tiene distribución normal.

Gráfico del histograma

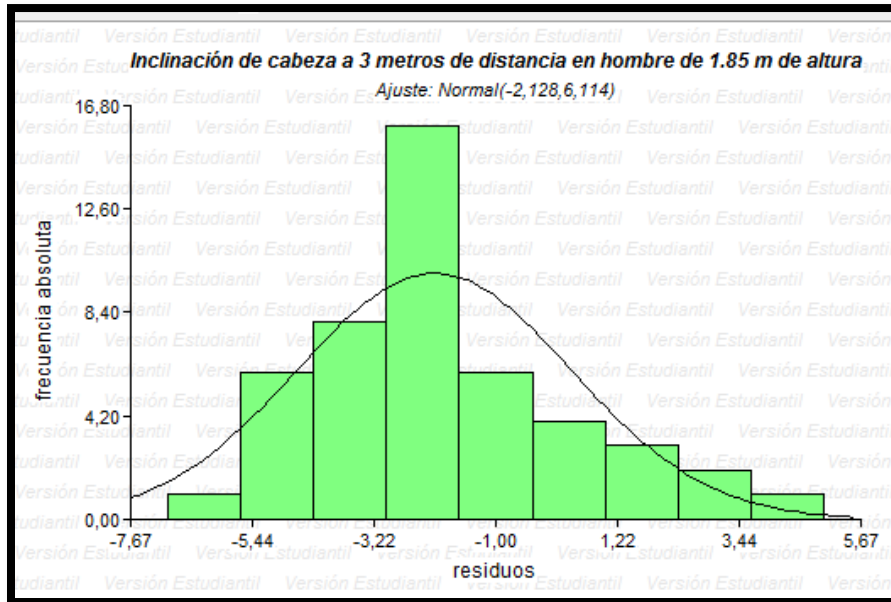


Ilustración 15: histograma caso 2

Caso 3: valgo fisiológico de rodilla a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Shapiro-Wilks (modificado)					
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
residuos	39	5,67	1,06	0,90	0,0050

Ilustración 16: prueba de normalidad caso 3

- ✓ $p = 0.005$
- ✓ $\alpha = 0.05$
- ✓ $p < \alpha$

En este caso, no se cumple la H_0 , por lo tanto rechazamos el supuesto de normalidad de la muestra.

Como en el caso del valor del valgo fisiológico los residuos no siguen una distribución normal, no se podrá realizar una regresión lineal ni calcular el coeficiente de concordancia, por lo tanto será necesario realizar otro tipo de análisis a este conjunto de mediciones para poder comparar sus valores.

Caso 4: abducción de hombro derecho a 3 metros de distancia en mujer de 1.65 metros de altura

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
residuos	40	1,20	2,16	0,94	0,1520

Ilustración 17: prueba de normalidad caso 4

- ✓ $p = 0.152$
- ✓ $\alpha = 0.05$
- ✓ $p > \alpha$

Por lo tanto, se cumple H_0 , la muestra tiene distribución normal.

Gráfico de histograma

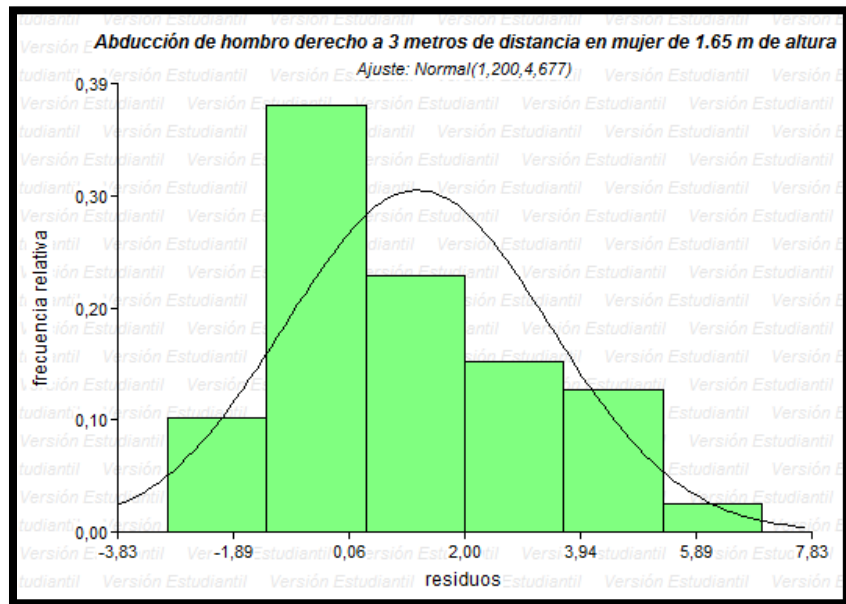


Ilustración 18: histograma caso 4

Caso 5: abducción de hombro derecho a 2 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
residuos	49	-0,59	3,14	0,94	0,1080

Ilustración 19: prueba normalidad caso 5

- ✓ $p = 0.108$
- ✓ $\alpha = 0.05$
- ✓ $p > \alpha$

Por lo tanto, se cumple H_0 , la muestra tiene distribución normal.

Gráfico del histograma

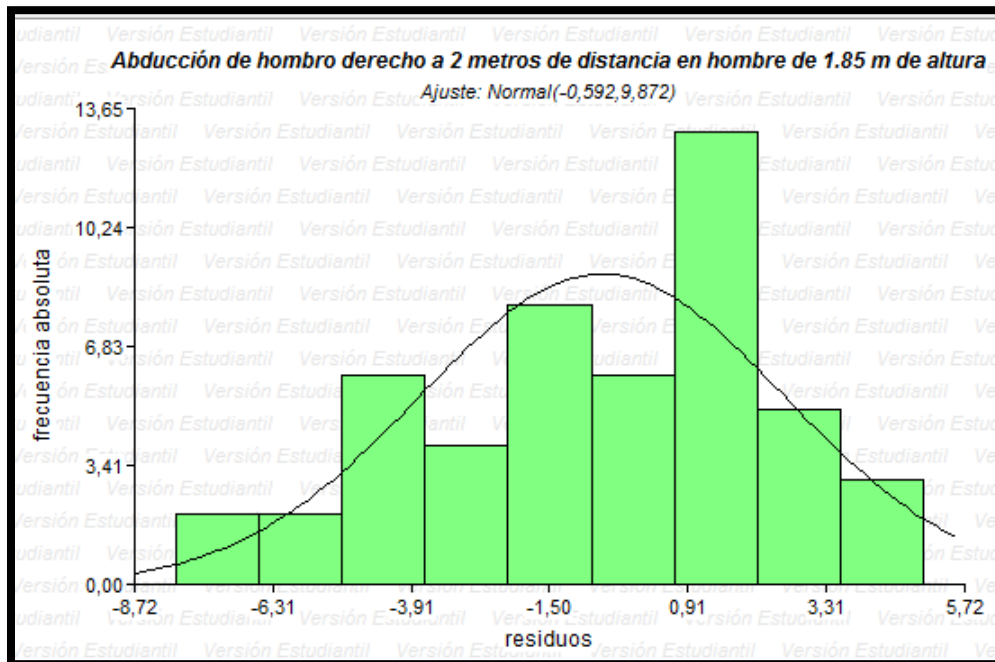


Ilustración 20: histograma caso 5

Caso 6: inclinación de cabeza a 2 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Shapiro-Wilks (modificado)					
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
residuos	20	-2,45	2,48	0,91	0,1670

Ilustración 21: prueba de normalidad caso 6

- ✓ $p = 0.167$
- ✓ $\alpha = 0.05$
- ✓ $p > \alpha$

Por lo tanto, se cumple H_0 , la muestra tiene distribución normal.

Gráfico del histograma

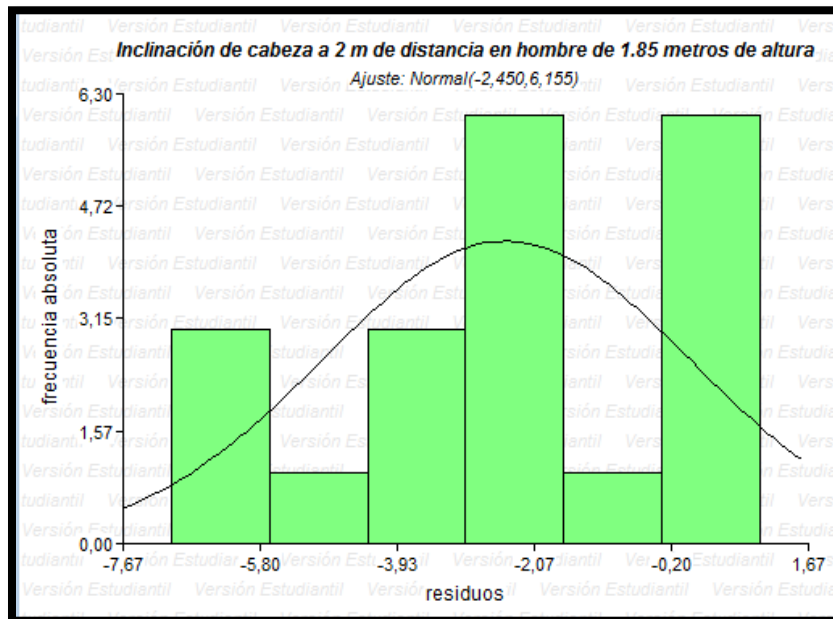


Ilustración 22: histograma caso 6

Caso 7: inclinación de hombros a tres metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Shapiro-Wilks (modificado)					
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
residuos	25	-1,02	0,91	0,90	0,0633

Ilustración 23: prueba de normalidad caso 7

- ✓ $p = 0.0633$
- ✓ $\alpha = 0.05$
- ✓ $p > \alpha$

Por lo tanto, se cumple H_0 , la muestra tiene distribución normal.

Gráfico del histograma

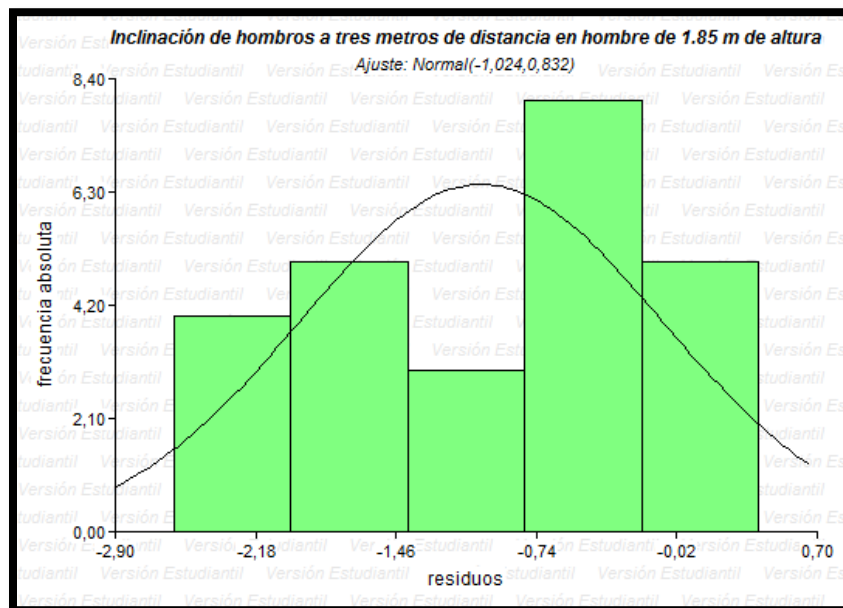


Ilustración 24: histograma caso 7

Análisis global de la normalidad de los datos

Como se pudo observar, en todos los casos, a excepción del valgo fisiológico, los residuos siguen una distribución normal. Por esta razón a esos casos será posible analizarles su concordancia y correlación lineal.

La razón por la cual los residuos del valgo fisiológico no siguen una distribución normal se debe a que el valgo es un valor fijo, por lo tanto los residuos tienen en la mayoría de los casos el mismo valor, ya que en las n mediciones realizadas los valores mensurados fueron muy parecidos, a diferencia de los otros casos donde el rango de medición es amplio, es decir, la abducción del hombro puede tomar un gran número de valores, al igual que la inclinación de la cabeza o la inclinación de hombros, y los residuos van tomando diferentes valores que favorecen a una distribución normal.

CAPÍTULO 8: REGRESIÓN LINEAL

Se realizará la regresión lineal en cada uno de los casos para determinar el grado de relación existente entre las dos variables. A su vez se analizará la recta regresora, es decir la recta de mejor ajuste a los datos, la cual se calcula a través del método de mínimos cuadrados que minimiza el error.

En el estudio en cuestión lo que se busca es que la recta sea lo más próxima a la recta $Y=X$, es decir que por cada incremento de una unidad de X se produzca un incremento de una unidad en Y . si remplazamos X e Y por nuestras variables, lo que buscamos es que:

- X = medición con el instrumento tradicional
- Y = medición con Kinect 2

Entonces,

$$\text{Medición con Kinect 2} = \text{Medición con el instrumento tradicional}$$

Se calculará también el coeficiente de correlación de Pearson que nos indicará la intensidad de la asociación lineal.

Se incluye a continuación una tabla de interpretación del coeficiente de correlación de Pearson.

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON	
VALOR	INTERPRETACIÓN
$R = 1$	correlación perfecta
$0,80 < R < 1$	correlación muy alta
$0,60 < R < 0,80$	correlación alta
$0,40 < R < 0,60$	correlación moderada
$0,20 < R < 0,40$	correlación baja
$0 < R < 0,20$	correlación muy baja
$R = 0$	correlación nula

Tabla 2: interpretación sugerida del coeficiente de correlación de Pearson⁶

⁶ Tabla obtenida de "<http://www.tesiseinvestigaciones.com/estadiacutesticos-descriptivos/coeficiente-de-pearson>" última visita a la página: 04/2017.

Además, se observará esta relación a través de los gráficos de dispersión y el gráfico de los residuos.

Se consideró al instrumento actual de medición como la variable independiente, ya que es el método tradicional, sin embargo se podría haber realizado al revés, debido a que en este análisis de correlación no existe una variable que modifique a la otra, es decir, no existe una variable “dependiente” y una “regresora” por lo tanto son intercambiables.

Caso 1: abducción de hombro derecho a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Análisis de regresión lineal									
Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC			
valor Kinect 2	55	0,98	0,98	9,19	277,03	283,05			
Coeficientes de regresión y estadísticos asociados									
Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF	
const	-0,38	1,72	-3,83	3,08	-0,22	0,8274			
valor goniómetro	1,02	0,02	0,97	1,06	46,27	<0,0001	2101,83	1,00	

Ilustración 25: regresión lineal del caso 1

La ecuación de la recta a la cual se ajusta el modelo es igual a:

$$Y = 1.02 X - 0.38$$

Donde Y es el valor de Kinect 2 (la variable dependiente) y X el valor del goniómetro (variable independiente).

Se puede observar que la relación de Kinect 2 y el goniómetro es lineal positiva (ya que el signo de la pendiente a es positivo) y que a su vez es casi una función identidad (función X=Y). Esto lo podemos determinar ya que el valor de la pendiente “a” es muy cercano a 1 y la ordenada al origen “b” es muy cercana a 0.

El resultado obtenido es muy positivo de acuerdo con lo que se especificó al inicio del capítulo.

Coeficiente de correlación de Pearson

Coeficientes de correlación		
Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades		
	valor Kinect 2	valor goniómetro
valor Kinect 2	1,00	0,00
valor goniómetro	0,99	1,00

Ilustración 26: coeficiente de correlación de Pearson del caso 1

El coeficiente de correlación es de $R = 0.99$, el cual nos indica que la relación entre las dos variables es muy fuerte.

Diagrama de dispersión

Para poder observar gráficamente esta relación que estudiamos analíticamente, incluiremos un diagrama de dispersión en donde se observan los valores de las mediciones dispuestos en un eje cartesiano.

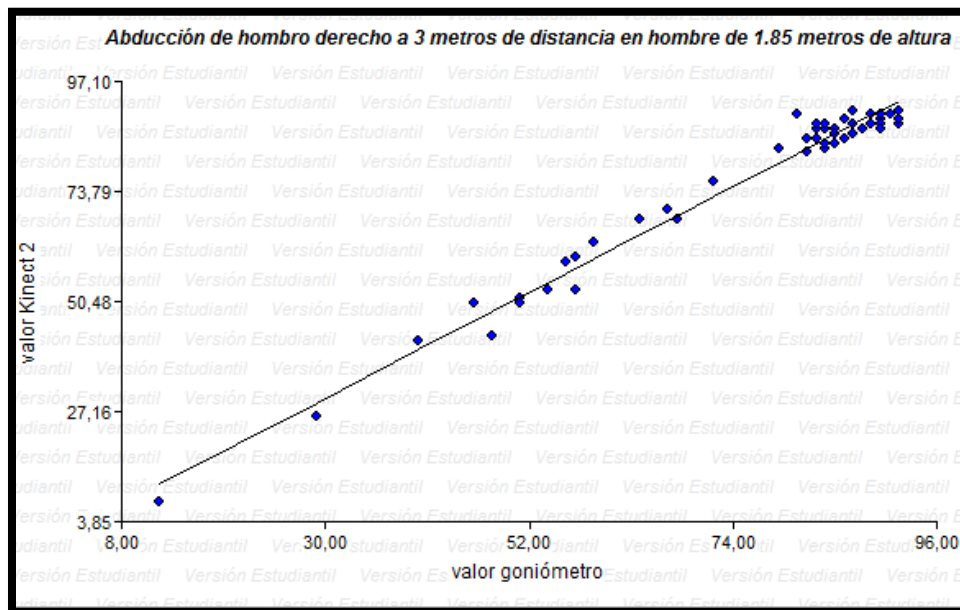


Ilustración 27: diagrama de dispersión del caso 1

En el diagrama podemos observar como la línea es casi una recta de 45° donde a cada valor del eje x le corresponde el mismo valor en el eje y. Se puede observar también como los valores se ajustan de muy buena manera a la recta de mínimos cuadrados.

Gráfico de la distribución de los residuos

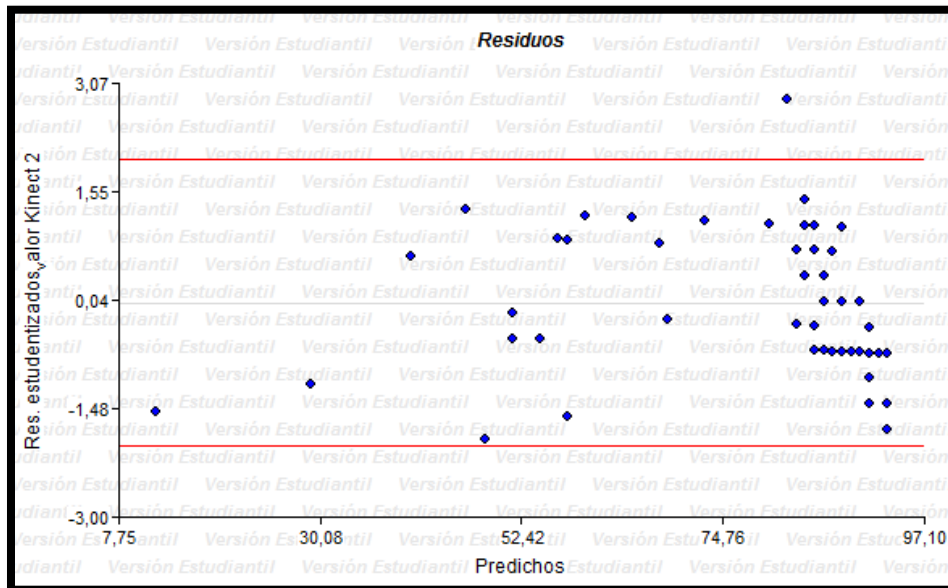


Ilustración 28: gráfico de distribución de residuos del caso 1

Se puede observar con claridad, que casi la totalidad de los residuos se encuentra dentro de los límites admisibles, es decir el error de cada una de las mediciones, es aceptable. Solo un dato se encuentra fuera de los límites, y como la muestra es de 55, se lo puede considerar como un dato atípico, es decir que su desviación se debe a errores aleatorios y no a errores intrínsecos de los instrumentos de medición.

Caso 2: inclinación de cabeza a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Análogo al caso anterior

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
valor Kinect 2	47	0,90	0,90	5,14	209,63	215,18

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	0,78	0,80	-0,84	2,40	0,97	0,3388		
valor goniómetro	0,84	0,04	0,75	0,92	19,94	<0,0001	389,80	1,00

Ilustración 29: regresión lineal del caso 2

La recta está dada por:

$$Y = 0.84 X + 0.78$$

Lo que podemos analizar de aquí, es que la pendiente ya no es tan cercana a 1 como en el caso anterior, por lo que a un valor determinado del goniómetro, el valor que le corresponde de la Kinect 2 ahora es un poco más diferente que en el caso anterior.

Coeficiente de correlación de Pearson

Coeficientes de correlación		
Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades		
	valor Kinect 2	valor goniómetro
valor Kinect 2	1,00	0,00
valor goniómetro	0,95	1,00

Ilustración 30: coeficiente de correlación de Pearson del caso 2

El coeficiente de correlación obtuvo un valor de 0.95, concluyendo así que la relación entre las variables es muy alta.

Para visualizar mejor este ejemplo incluimos a continuación el gráfico de dispersión.

Gráfico de dispersión

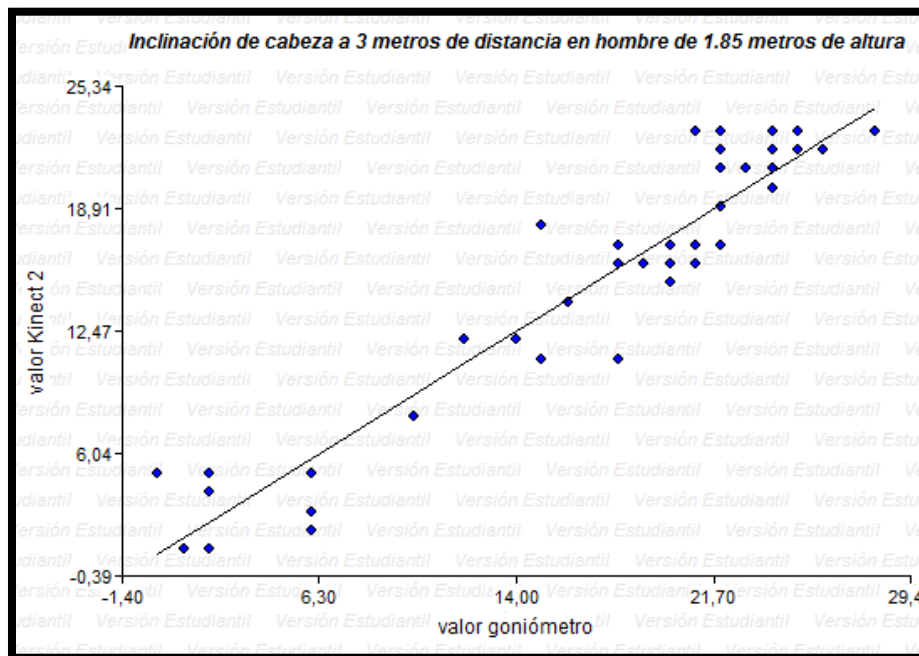


Ilustración 31: diagrama de dispersión caso 2

Se observa a simple vista como los datos, no están tan bien ajustados a la recta como el caso anterior, pero sin embargo el ajuste sigue siendo muy fiel.

Gráfico de la distribución de los residuos

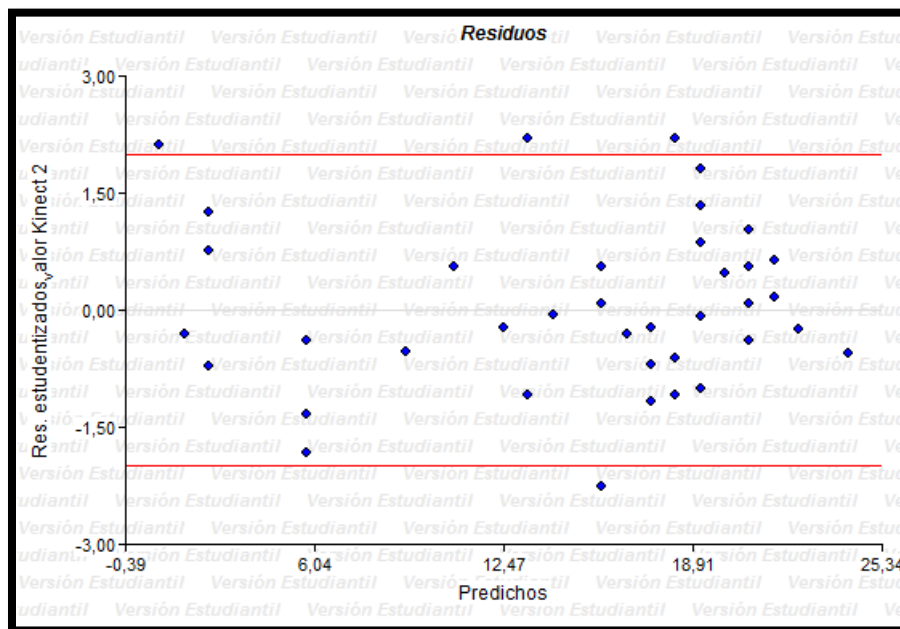


Ilustración 32: gráfico de distribución de los residuos del caso 2

Aquí se observa con claridad, que la mayoría de los residuos se ubican dentro de los límites admisibles, sin embargo, existen aquellos que salen de los límites, y es importante saber si estos errores deben tenerse en cuenta o se los puede atribuir al azar.

Caso 3: valgo fisiológico de rodilla a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Anteriormente, en el análisis de normalidad, se determinó que no era posible realizarle un análisis de regresión a este conjunto de datos. Las razones radican en que para realizar una regresión lineal se debe cumplir que el rango de medición sea amplio y que la distribución de los residuos sea normal.

Sin embargo, eso no indica que no exista una relación entre ellos, simplemente marca que hay que hacerle otro análisis a los datos.

De igual manera, se incluye a continuación en análisis para poder observar cómo reaccionan los datos.

Se puede observar como la recta casi no tiene pendiente, y como en el gráfico de dispersión, los puntos se encuentran uniformemente distribuidos.

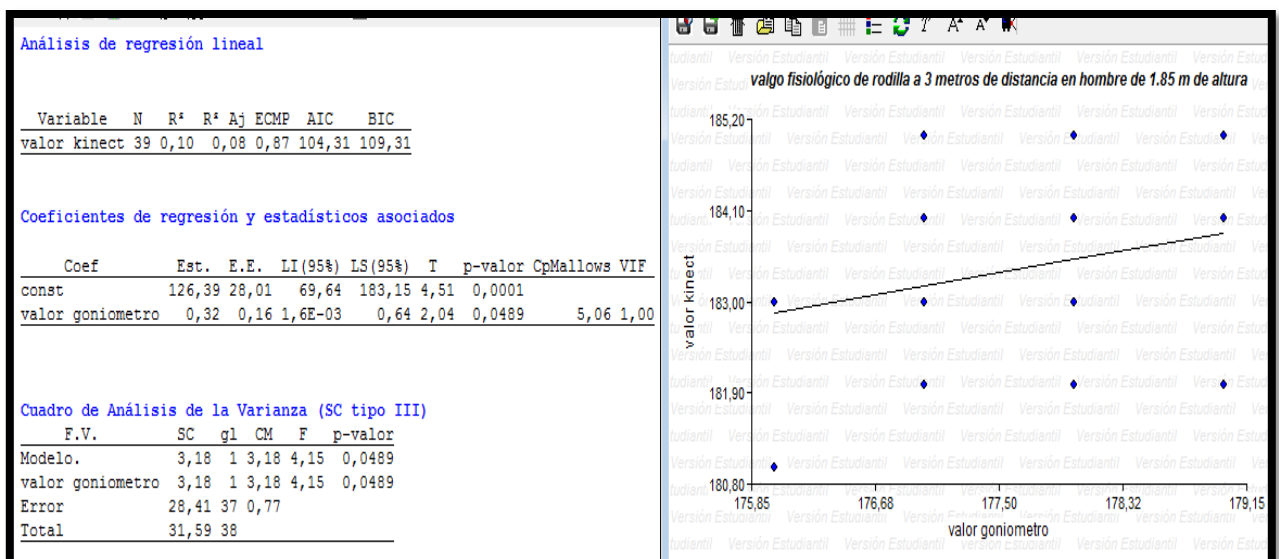


Ilustración 33: regresión lineal del caso 3

Caso 4: abducción de hombro derecho a 3 metros de distancia en mujer de 1.65 metros de altura

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
valor Kinect 2	40	0,96	0,96	4,89	177,20	182,27

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	4,99	2,23	0,48	9,49	2,24	0,0309		
valor goniómetro	0,95	0,03	0,89	1,01	32,30	<0,0001	1017,41	1,00

Ilustración 34: regresión lineal del caso 4

La ecuación de la recta de ajuste está dada por:

$$Y = 0.95 X + 4.99$$

En este caso, a pesar de que la pendiente sea muy cercana a la unidad, la variable independiente de 4.99 nos estaría introduciendo diferencias entre las mediciones de un instrumento y el otro, alejándolo de la función identidad Y=X.

Coefficiente de correlación de Pearson

Coefficientes de correlación

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	valor Kinect 2	valor goniómetro
valor Kinect 2	1,00	0,00
valor goniómetro	0,98	1,00

Ilustración 35: coeficiente de correlacion de Pearson del caso 4

Se obtiene un coeficiente de correlación muy elevado, de R=0.98, indicando la fuerte relación entre las variables.

Gráfico de dispersión

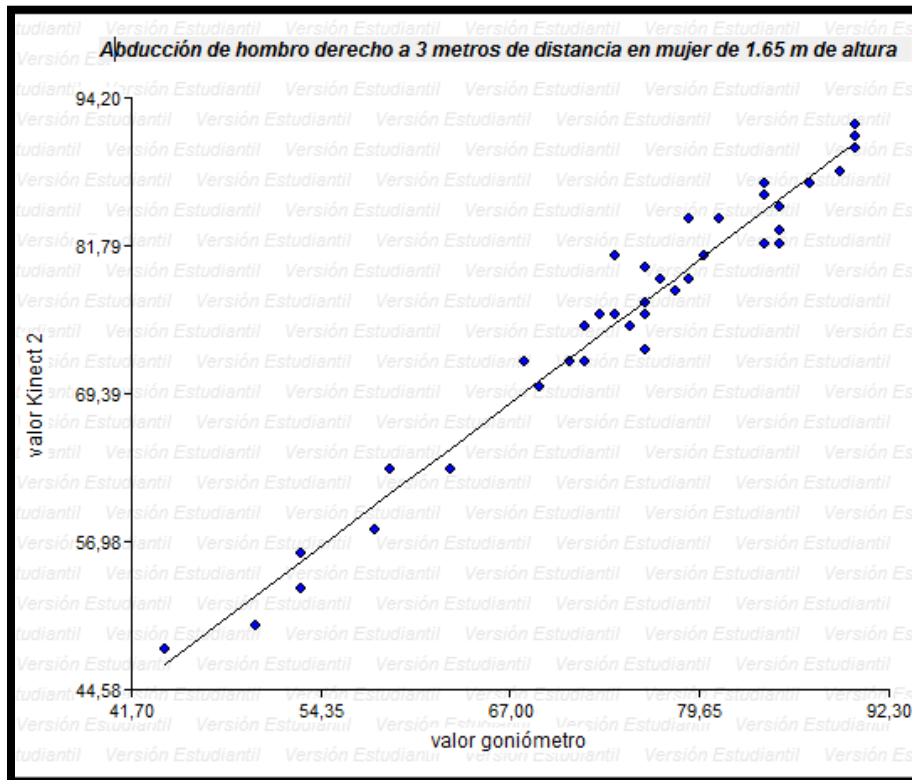


Ilustración 36: diagrama de dispersión del caso 4

Observando el gráfico de dispersión, es probable que el término independiente de la recta sea alto, ya que los valores que se midieron fueron muy lejanos al 0, lo que puede haber introducido errores. Sin embargo en la gráfica se puede ver como los valores se ajustan muy bien y como a cada valor de X le corresponde uno de Y muy similar.

Gráfico de distribución de residuos

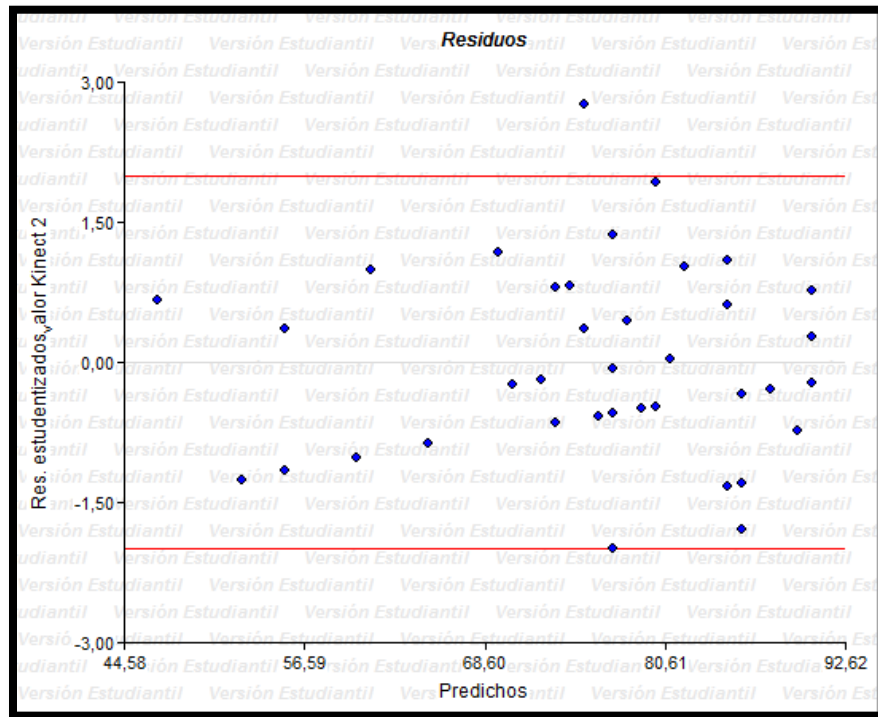


Ilustración 37: gráfico de distribución de los residuos del caso 4

A través de los gráficos se puede observar que el ajuste es muy bueno y que los residuos en su gran mayoría se encuentran dentro de los límites admisibles.

Caso 5: abducción de hombro derecho a 2 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
valor Kinect 2	55	0,95	0,95	10,80	286,18	292,20

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-1,13	1,64	-4,42	2,16	-0,69	0,4956		
valor goniómetro	1,01	0,03	0,95	1,08	32,41	<0,0001	1032,11	1,00

Ilustración 38: regresión lineal caso 5

Análogo a los casos anteriores, la ecuación de la recta es muy cercana a la identidad, como se muestra a continuación.

$$Y = 1.01 X - 1.13$$

Coeficiente de correlación de Pearson

Coeficientes de correlación

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	valor Kinect 2	valor goniómetro
valor Kinect 2	1,00	0,00
valor goniómetro	0,98	1,00

Ilustración 39: coeficiente de correlación de Pearson del caso 5

El coeficiente de correlación obtuvo un valor de $R = 0.98$.

Gráfico de dispersión

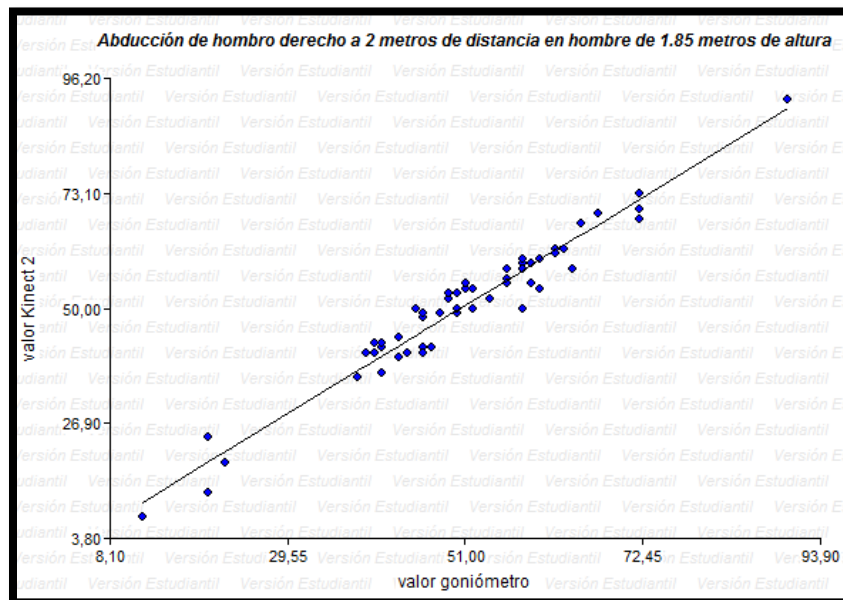


Ilustración 40: diagrama de dispersión del caso 5

Se observa a simple vista como los datos se ajustan de una manera muy buena a la recta.

Gráfico de la distribución de los residuos

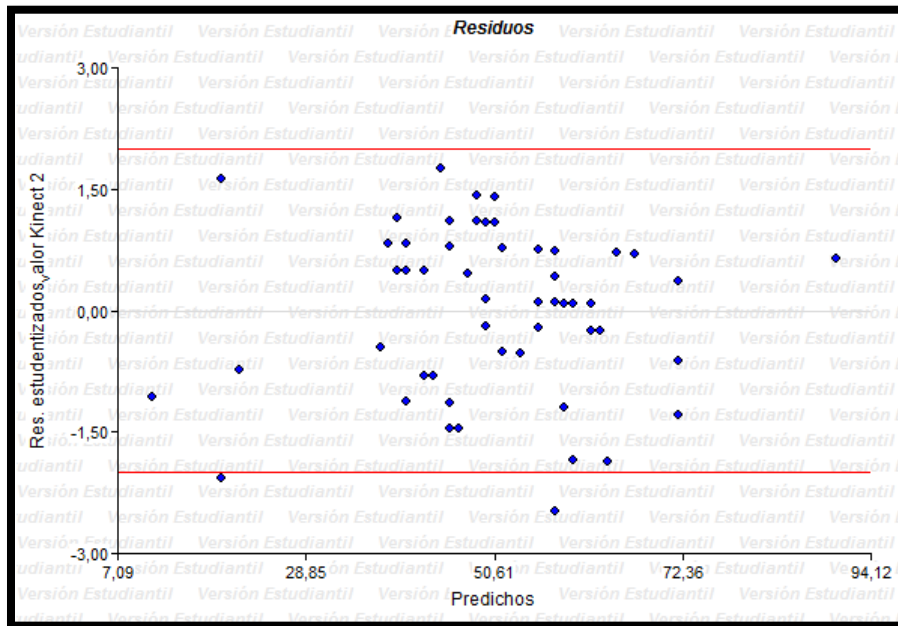


Ilustración 41: gráfico de distribución de los residuos del caso 5

Aquí, como en los casos anteriores, la gran mayoría de los residuos se encuentran ubicados en la zona admisible a lo largo del rango de medición.

Caso 6: inclinación de cabeza a 2 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
valor Kinect 2	20	0,94	0,94	5,54	90,28	93,26

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-0,13	0,92	-2,06	1,81	-0,14	0,8922		
valor goniómetro	0,85	0,05	0,74	0,96	16,74	<0,0001	266,67	1,00

Ilustración 42: regresión lineal del caso 6

Con respecto a la ecuación de la recta, se cumplen las características de los casos anteriores, siendo la ecuación:

$$Y = 0.85 X - 0.13$$

Coefficiente de correlación de Pearson

Coefficientes de correlación

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	valor kinect 2	valor goniómetro
valor kinect 2	1,00	2,0E-12
valor goniómetro	0,97	1,00

Ilustración 43: coeficiente de correlación de Pearson del caso 6

El valor del coeficiente de correlación es de 0.97.

Gráfico de dispersión

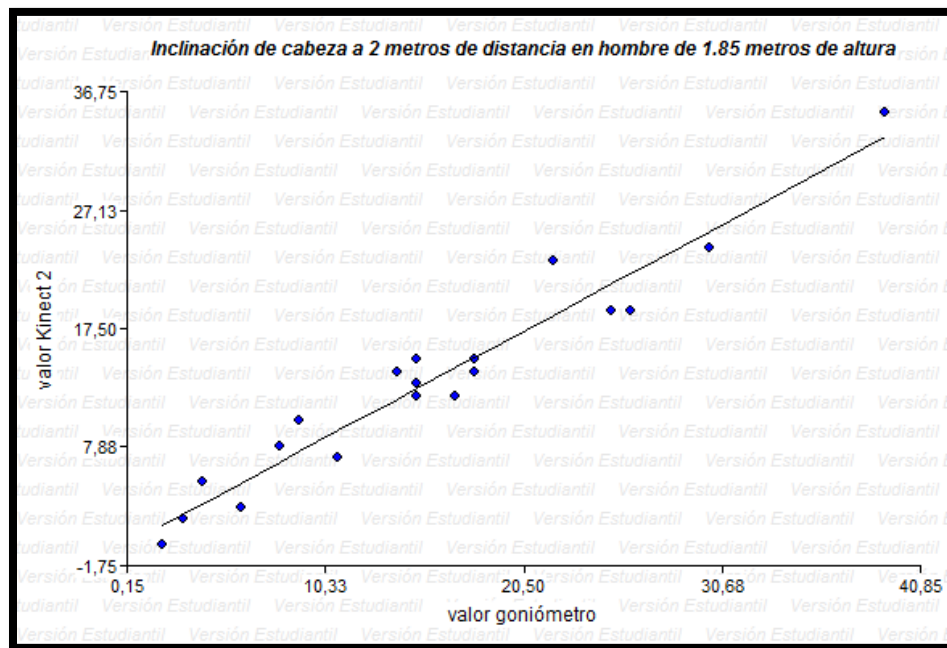


Ilustración 44: diagrama de dispersión del caso 6

Análogo a los casos anteriores, los datos se ajustan muy bien al modelo.

Gráfico de distribución de los residuos

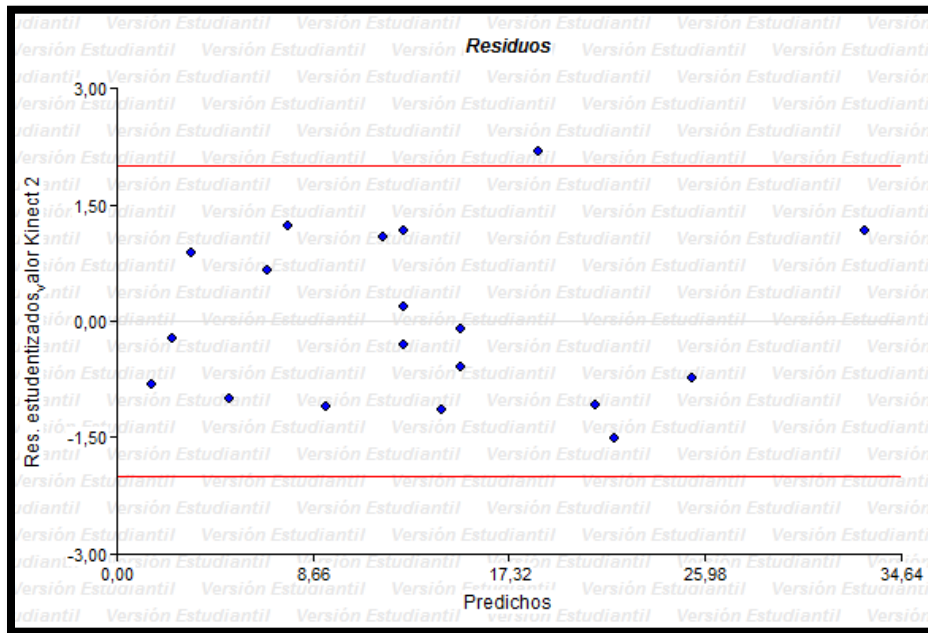


Ilustración 45: gráfico de distribución de los residuos del caso 6

Podemos observar nuevamente, como los residuos se ubican dentro de los límites aceptables a lo largo del rango de medición.

Caso 7: inclinación de hombros a tres metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
valor kinect 2	25	0,94	0,94	0,68	61,61	65,26

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-0,28	0,27	-0,84	0,29	-1,02	0,3200		
valor GeoGebra	0,85	0,04	0,76	0,95	19,21	<0,0001	354,65	1,00

Ilustración 46: regresión lineal del caso 7

La ecuación de la recta es:

$$Y = 0.85 X - 0.28$$

Nuevamente, como en los casos anteriores, la ecuación de la recta es muy favorable para el análisis en cuestión.

Coefficiente de correlación de Pearson

Coefficientes de correlación

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	valor kinect 2	valor GeoGebra
valor kinect 2	1,00	0,00
valor GeoGebra	0,97	1,00

Ilustración 47: coeficiente de correlación del Pearson del caso 7

El coeficiente de correlación obtenido es de 0.97, indicando la fuerte relación entre las variables.

Gráfico de dispersión

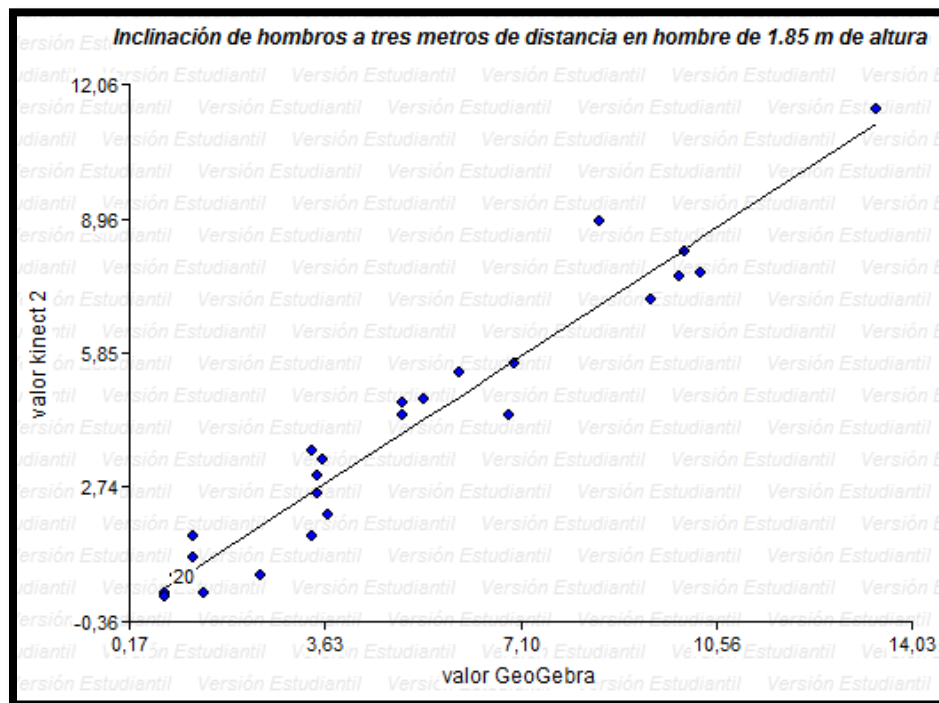


Ilustración 48: diagrama de dispersión del caso 7

Gráfico de los residuos

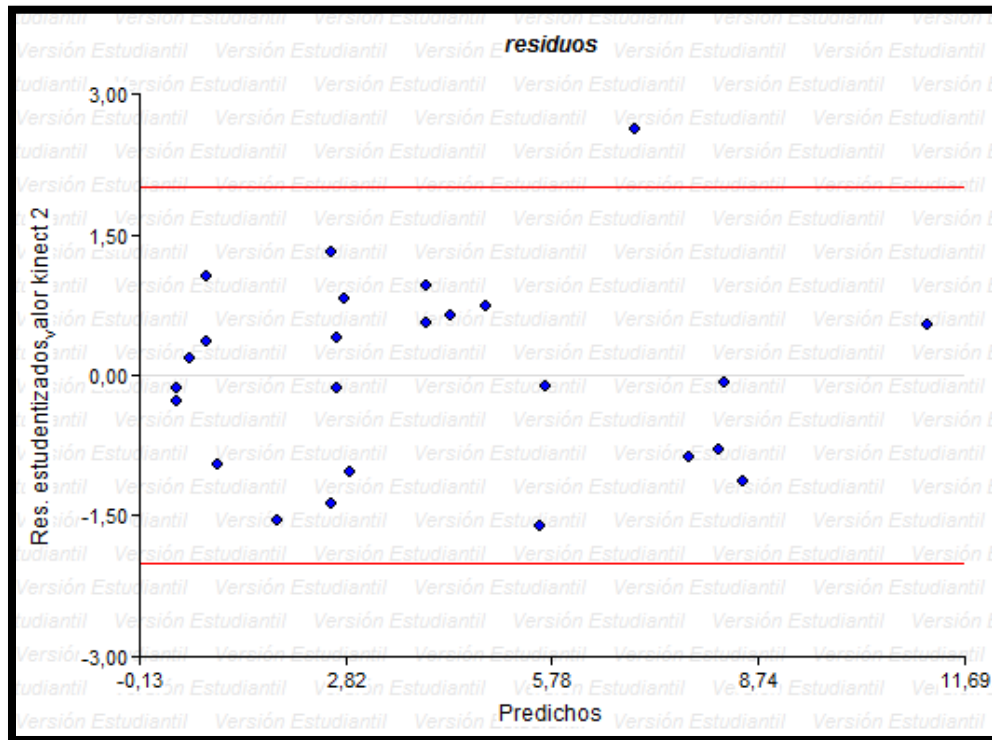


Ilustración 49: gráfico de distribución de residuos del caso 7

Los gráficos indican un buen ajuste de los datos al análisis.

Análisis global de la regresión lineal y el coeficiente de correlación de los datos

Luego de realizar el análisis de correlación lineal de los diferentes casos estudiados, se puede advertir como sin importar las características de las mediciones, en líneas generales, la relación lineal existente entre las mediciones del método tradicional y el método nuevo en estudio es muy elevada y que la recta a la cual tienden a ajustarse es la recta de $Y=X$.

A su vez, se puede observar la linealidad de los datos, ya que a lo largo del rango de medición el error se mantiene constante, es decir, no se ve condicionado por las medidas más cercanas a los valores extremos.

CAPÍTULO 9: COEFICIENTE DE CONCORDANCIA DE LIN

A continuación se calculará el grado de concordancia entre las mediciones, ya que a pesar de que la relación sea fuerte, en muchos casos la concordancia es pobre, y en el caso en estudio, lo que se quiere averiguar es si ambos métodos de medición son intercambiables, y ese dato lo ofrece el coeficiente de concordancia de Lin.

A su vez, el coeficiente de concordancia, nos da una idea de cuánto se ajustan los datos a la recta de $X=Y$, y nos asegura la reproducibilidad del método.

Se incluye un cuadro con la interpretación sugerida del coeficiente

COEFICIENTE DE CONCORDANCIA DE LIN	
VALOR	INTERPRETACIÓN
$\rho > 0,99$	Concordancia casi perfecta
$0,95 < \rho < 0,99$	Concordancia sustancial
$0,90 < \rho < 0,95$	Concordancia moderada
$\rho < 0,89$	Concordancia pobre

Tabla 3: interpretación del coeficiente de concordancia de Lin⁷

Caso 1: abducción de hombro derecho a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

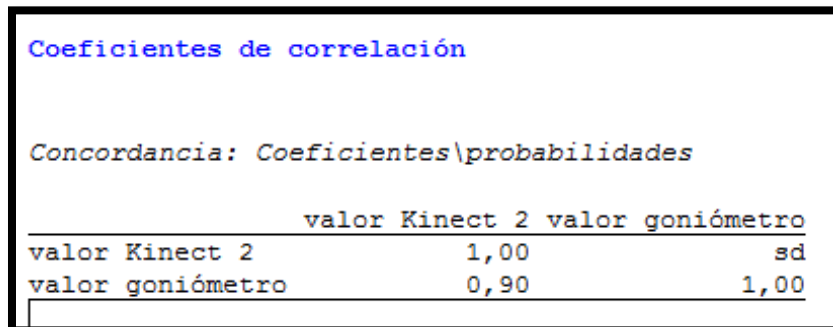
Coeficientes de correlación		
Concordancia: Coeficientes\probabilidades		
	valor Kinect 2	valor goniómetro
valor Kinect 2	1,00	sd
valor goniómetro	0,99	1,00

Ilustración 50: coeficiente de concordancia de Lin del caso 1

El coeficiente de concordancia dio un valor de $\rho = 0.99$. En este caso, el coeficiente de correlación y el de concordancia tienen el mismo valor, e indica que la concordancia entre ambos métodos de acuerdo a la tabla de interpretación sugerida es casi perfecta.

⁷ Datos obtenidos de Edgar Cortés-Reyes, et al. "métodos estadísticos de evaluación de la concordancia y la reproducibilidad de pruebas diagnósticas" Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología Vol. 61 No. 3, 2010

Caso 2: inclinación de cabeza a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura



```
Coeficientes de correlación

Concordancia: Coeficientes\probabilidades

valor Kinect 2 valor goniómetro
valor Kinect 2      1,00      sd
valor goniómetro    0,90      1,00
```

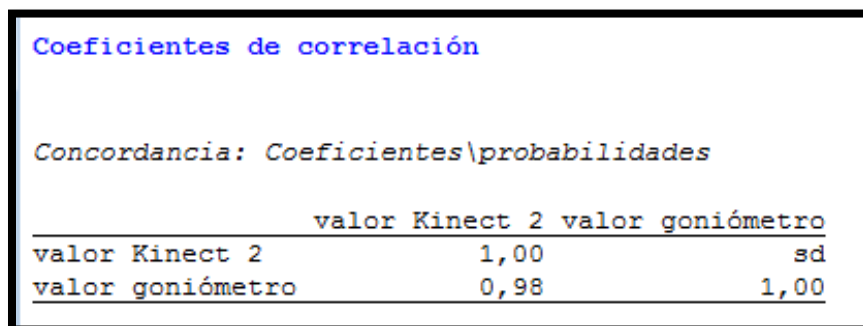
Ilustración 51: coeficiente de concordancia de Lin del caso 2

El coeficiente de concordancia dio un valor de $\rho = 0.90$, en este caso, el coeficiente de concordancia es menor en un 5% que el coeficiente de correlación de Pearson. En este caso, la interpretación del coeficiente de acuerdo a la tabla de valores sugerida, indica que la concordancia es moderada.

Caso 3: valgo fisiológico de rodilla a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Como se mencionó anteriormente, este caso no se puede analizar a través del coeficiente de concordancia.

Caso 4: abducción de hombro derecho a 3 metros de distancia en mujer de 1.65 metros de altura



```
Coeficientes de correlación

Concordancia: Coeficientes\probabilidades

valor Kinect 2 valor goniómetro
valor Kinect 2      1,00      sd
valor goniómetro    0,98      1,00
```

Ilustración 52: coeficiente de concordancia de Lin del caso 4

El coeficiente de concordancia obtuvo un valor de $\rho = 0.98$, indicando una concordancia sustancial entre los resultados obtenidos con ambos instrumentos, nuevamente basándonos en la interpretación sugerida.

Caso 5: abducción de hombro derecho a 2 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Coeficientes de correlación		
Concordancia: Coeficientes\probabilidades		
	valor Kinect 2	valor goniómetro
valor Kinect 2	1,00	sd
valor goniómetro	0,97	1,00

Ilustración 53: coeficiente de concordancia de Lin del caso 5

El coeficiente de concordancia dio un valor de $\rho = 0.97$, indicando nuevamente una concordancia sustancial.

Caso 6: inclinación de cabeza a 2 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Coeficientes de correlación		
Concordancia: Coeficientes\probabilidades		
	valor kinect 2	valor goniómetro
valor kinect 2	1,00	sd
valor goniómetro	0,93	1,00

Ilustración 54: coeficiente de concordancia de Lin del caso 6

El coeficiente de concordancia dio un valor de $\rho = 0.93$, indicando una concordancia moderada.

Caso 7: inclinación de hombros a tres metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Coeficientes de correlación

Concordancia: Coeficientes\probabilidades

	valor kinect 2	valor GeoGebra
valor kinect 2	1,00	sd
valor GeoGebra	0,92	1,00

Ilustración 55: coeficiente de concordancia de Lin del caso 7

Se obtuvo un valor de $\rho = 0.92$, lo que indica una concordancia moderada.

Análisis global del coeficiente de concordancia de Lin de los datos

Luego de haber calculado el coeficiente de concordancia, podemos advertir que en todos los casos, el valor del coeficiente se encuentra entre 0.90 y 1. Esto significa que, de acuerdo a la tabla de interpretación del coeficiente de Lin sugerida, la concordancia, dependiendo el caso, se encuentra entre moderada y casi perfecta. Siendo sustancial en las mediciones de hombro, tanto en dos personas de diferentes alturas, como en una misma persona pero a una distancia diferente de la cámara y moderada en las mediciones de inclinación de la cabeza (ambos casos) y en la medición de hombros.

A pesar de la interpretación sugerida para el coeficiente de Lin, es importante interpretarlo de acuerdo al caso en estudio, ya que una concordancia “moderada” podría indicar una variabilidad que a los fines prácticos no sea sustancial y no introduzca problemas clínicos. Para poder determinar esto, se realizará a continuación el análisis del sesgo para ver de cuanto es el error en las mediciones.

CAPÍTULO 10: ANÁLISIS DE EXACTITUD Y PRECISIÓN EN LAS MEDICIONES

Caso 1: abducción de hombro derecho a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Medidas resumen				
Variable	n	Media	D.E.	Var(n-1)
valor kinect 2	55	77,20	18,46	340,79
valor goniómetro	55	76,40	17,96	322,54
residuos	55	0,80	2,88	8,31

Ilustración 56: estadística descriptiva del sesgo del caso 1

El valor absoluto de la media de los residuos y la desviación estándar de los mismos nos indica el sesgo (error sistemático de las mediciones) de las mediciones y la amplitud del mismo.

$$\text{sesgo} = X \sim N(0.8; 2.88^2)$$

Esto se puede interpretar como que si se toma el valor de las mediciones del goniómetro como “valor real” entonces, cada medición que se realice con la Kinect 2, tendrá un error sistemático de 0.8° con respecto al valor que se obtendría con el goniómetro, es decir, si con la Kinect 2 se miden 20° entonces el valor que se mediría en el goniómetro sería de 19.2° .

El signo positivo o negativo del sesgo indicaran hacia qué lado tiende a ir el error.

Caso 2: inclinación de cabeza a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Medidas resumen				
Variable	n	Media	D.E.	Var(n-1)
valor kinect 2	47	15,53	6,69	44,78
valor goniómetro	47	17,66	7,59	57,62
residuos	47	-2,13	2,47	6,11

Ilustración 57: estadística descriptiva del sesgo del caso 2

$$sesgo = X \sim N(-2.13; 2.47^2)$$

En este caso, el sesgo indica que el valor medido con Kinect 2 es 2.13° menor que el valor medido con el goniómetro.

Caso 3: valgo fisiológico de rodilla a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Variable	n	Media	D.E.	Var(n-1)
valor kinect 2	39	183,44	0,91	0,83
valor goniómetro	39	177,77	0,90	0,81
residuos	39	5,67	1,06	1,12

Ilustración 58: estadística descriptiva del sesgo del caso 3

En el caso del valgo fisiológico, es el análisis de la exactitud y la precisión el más importante debido a que es una medición estática.

El valor del sesgo es:

$$sesgo = X \sim N(5.67; 1.06^2)$$

Como se puede observar, en este caso el sesgo obtiene un valor más elevado, siendo el mismo de 5.67°. La variabilidad del mismo sin embargo es pequeña, indicándonos que casi siempre el error entre la medición con Kinect 2 y la medición con el goniómetro van a estar entre 5° y 6°.

Si se observa a su vez, la media y desviación estándar de los valores medidos tenemos que, la media de los valores medidos con Kinect 2 es de 183.44° con una desviación muy pequeña de 0.91° y la media de los valores medidos con el goniómetro es de 177.77° con una desviación también muy pequeña de 0.9°.

Podemos decir entonces, que cada vez que Kinect 2 mide el valgo fisiológico, en realidad está cometiendo un error sistemático de 5.67°.

En la práctica, esto se considera un error grande ya que en la medida del valgo fisiológico una diferencia de 5° cambiaría la visión del profesional de la salud para brindarle algún tratamiento.

Caso 4: abducción de hombro derecho a 3 metros de distancia en mujer de 1.65 metros de altura

Medidas resumen				
Variable	n	Media	D.E.	Var(n-1)
valor kinect 2	40	76,05	11,11	123,43
valor goniómetro	40	74,85	11,49	132,13
residuos	40	1,20	2,16	4,68

Ilustración 59: estadística descriptiva del sesgo del caso 4

$$sesgo = X \sim N(1.20; 2,16^2)$$

Caso 5: abducción de hombro derecho a 2 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Medidas resumen				
Variable	n	Media	D.E.	Var(n-1)
valor kinect 2	55	50,24	14,23	202,48
valor goniómetro	55	50,64	13,69	187,35
residuos	55	-0,40	3,12	9,76

Ilustración 60: estadística descriptiva del sesgo del caso 5

$$sesgo = X \sim N(-0.40; 3.12^2)$$

Caso 6: inclinación de cabeza a 2 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Medidas resumen				
Variable	n	Media	D.E.	Var(n-1)
valor kinect 2	20	13,15	8,31	69,08
valor goniómetro	20	15,60	9,47	89,62
residuos	20	-2,45	2,48	6,16

Ilustración 61: estadística descriptiva del sesgo del caso 6

$$sesgo = X \sim N(-2,45; 2,48^2)$$

Caso 7: inclinación de hombros a tres metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura

Medidas resumen				
Variable	n	Media	D.E.	Var(n-1)
valor kinect 2	25	4,06	3,10	9,61
valor GeoGebra	25	5,08	3,53	12,43
residuos	25	-1,02	0,91	0,83

Ilustración 62: estadística descriptiva del sesgo del caso 7

$$sesgo = X \sim N(-1.02, ; 0.91^2)$$

Análisis global de del sesgo de los datos

Se puede advertir, que en lo que refiere a las mediciones de ángulos, a excepción del valgo fisiológico, el error sistemático se encuentra entre 2° y 4°, considerando la desviación estándar de los errores. Estos valores, para un estudio de valoración estática, no representan grandes problemas entre mediciones, un error de 2° no introduce inconvenientes a nivel clínico y terapéutico.

Con respecto a las mediciones de la inclinación de hombros, sucede algo parecido, un sesgo de 1 centímetro, no genera problemas a nivel clínico.

El caso en donde el error sí trae aparejado una consecuencia diagnóstica, es el del valgo fisiológico, como se indicó más arriba, se deberán estudiar las causas que provocan este error para buscar una solución al mismo.

CAPÍTULO N°11: ANÁLISIS DE PRECISIÓN

Para determinar cuál es la precisión del método y poder obtener así su error aleatorio, se realizaron 40 mediciones con la Kinect 2 sobre un maniquí. Luego de cada medición, se cambió la posición del maniquí, para cumplir con los requerimientos de independización de las mediciones.

Los datos que se recopilaron son:

- a- Abducción de hombro izquierdo (grados)
- b- Abducción de hombro derecho (grados)
- c- Inclinación de hombros (centímetros)
- d- Inclinación de cadera (centímetros)

No se incluyó la precisión en la inclinación de cabeza, ya que el maniquí no venía con cabeza, y la cabeza que se utilizó para las mediciones fue construida con papel y pegada con cinta, por lo tanto la posición de la misma no era fija, entonces no se cumplían las condiciones para medir la repetibilidad. Cabe aclarar, que era necesario que tenga cabeza porque de otra manera el dispositivo no lo reconocía como un cuerpo humano.

Se incluirá a continuación una foto a modo de ejemplificación de cómo se tomaron las mediciones al maniquí.

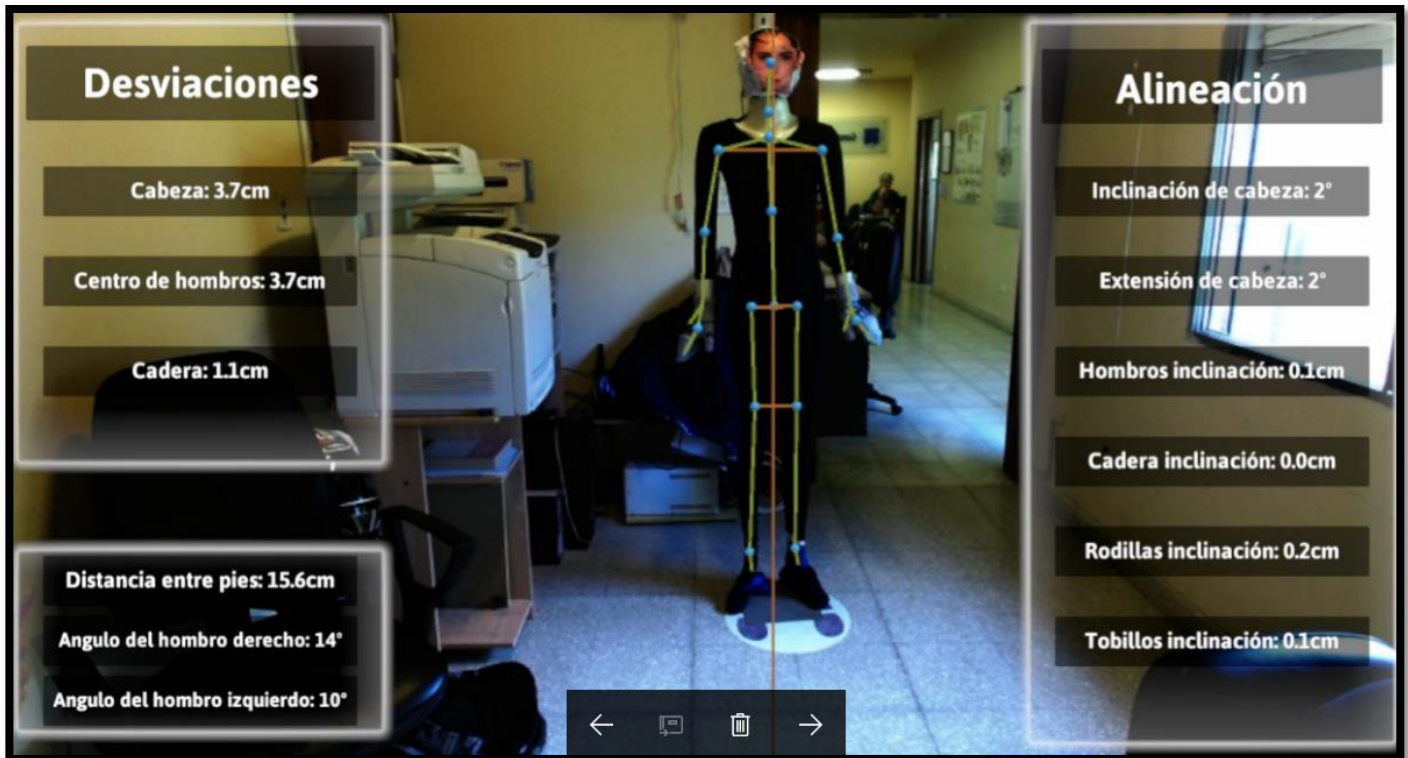


Ilustración 63: medición en el maniquí

A continuación se incluye un cuadro con los datos del número de muestra, media, desviación estándar y varianza de las mediciones del maniquí.

Medidas resumen				
Variable	n	Media	D.E.	Var(n-1)
abducción de hombro derecho..	40	13,50	0,96	0,92
abducción hombro izquierdo..	40	10,95	0,85	0,72
inclinación de hombros (cm)..	40	0,20	0,16	0,03
inclinación de cadera (cm)..	40	0,31	0,28	0,08

Ilustración 64: estadística descriptiva de la precisión

Se puede observar que en el caso de las mediciones de ángulos, la desviación estándar no llega a 1° en ninguno de los casos, y a su vez son muy similares entre sí.

Por el lado de las mediciones de las inclinaciones, la desviación no llega a los 3 milímetros.

RESULTADOS

CAPÍTULO N° 12: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Luego de haber realizado el protocolo propuesto para cumplir el objetivo planteado al inicio de este trabajo, se procederá a hacer un estudio de los resultados obtenidos.

Concordancia y exactitud

A continuación se incluirá una tabla con el resumen de los valores calculados en el análisis.

	CONCORDANCIA				EXACTITUD
	NORMALIDAD	R	RECTA	ρ	SESGO
Caso 1: abducción de hombro derecho a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura	SÍ	0,99	$Y=1.02 X-0.38$	0,99	$X \sim N(0,8; 2,88^2)$
Caso 2: inclinación de cabeza a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura	SÍ	0,95	$Y=0.84 X+0.78$	0,9	$X \sim N(-2,13; 2,47^2)$
Caso 3: valgo fisiológico de rodilla a 3 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura	NO	-	-	-	$X \sim N(5,67; 1,06^2)$
Caso 4: abducción de hombro derecho a 3 metros de distancia en mujer de 1.65 metros de altura	SÍ	0,98	$Y=0.95 X+4.99$	0,98	$X \sim N(1,2; 2,16^2)$
Caso 5: abducción de hombro derecho a 2 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura	SÍ	0,98	$Y=1.01 X-1.13$	0,97	$X \sim N(-0,4; 3,12^2)$
Caso 6: inclinación de cabeza a 2 metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura	SÍ	0,97	$Y=0.85 X-0.13$	0,93	$X \sim N(-2,45; 2,48^2)$
Caso 7: inclinación de hombros a tres metros de distancia en hombre de 1.85 metros de altura	SÍ	0,97	$Y=0.85 X-0.28$	0,92	$X \sim N(-1,02; 0,91^2)$

Tabla 4: resumen de los resultados

Análisis de error en mediciones del cuerpo humano con el dispositivo Kinect 2

Si se observa el valor del coeficiente de correlación de Pearson, en todos los casos la correlación lineal entre ambas variables es muy alta, es decir, casi perfecta, ya que en todos los casos su valor es mayor a 0.95.

Sin embargo, a pesar de que la correlación lineal sea casi perfecta, la concordancia oscila entre moderada y casi perfecta.

En el caso 1, 4 y 5, y basándonos en la interpretación del coeficiente de concordancia de Lin, se puede determinar que la concordancia es entre sustancial y casi perfecta, es decir, un resultado muy positivo.

En el caso 4, no se obtuvo una ecuación de la recta muy buena, ya que el término independiente es muy alto, sin embargo el coeficiente de concordancia es muy elevado, por lo tanto se puede determinar que el error en la ecuación se debe a que las mediciones se realizaron muy lejos del valor 0 como se había supuesto anteriormente y la concordancia entre los instrumentos es buena.

A fines interpretativos del problema en cuestión, esto significa que en la medición de la articulación del hombro la concordancia entre ambos instrumentos es muy elevada, sin sufrir alteraciones debido a la altura de la persona medida o la distancia a la cámara. Además, estos casos presentan un sesgo muy pequeño.

Con respecto a los casos 2 y 6, la concordancia de los métodos es moderada, nuevamente de acuerdo a la tabla de interpretación del coeficiente.

A su vez, si se observa la ecuación de la recta, se advierte que las pendientes están más lejos de 1 que en los casos de la abducción de hombro.

Teniendo en cuenta que ambos casos representan mediciones de la inclinación de la cabeza y considerando que sus valores son similares, podemos atribuir la falta de concordancia a un error intrínseco de la Kinect 2 y no a un error introducido por la distancia, ya que los coeficientes son más bajos que los casos anteriores, pero son similares entre sí. Una posible causa de la disminución en la concordancia en comparación con las mediciones de hombro, puede radicar en un error de la Kinect 2 para ubicar el punto correcto de la cabeza para medir el ángulo.

Para determinar si esta concordancia moderada verdaderamente afecta a los fines prácticos de la valoración estática, se analizará el sesgo de estos casos.

- Caso 1: $X \sim N(-2,13; 2,47^2)$
- Caso 6: $X \sim N(-2,45; 2,48^2)$

Se puede advertir que el sesgo es casi igual en ambos casos, por lo tanto se analizarán como si fueran iguales.

La diferencia entre la medición con Kinect 2 y el goniómetro sería de aproximadamente 2° , con una desviación de aproximadamente el mismo valor. Por lo tanto, el error, si lo hubiese, rondaría entre 2° y 4° .

Si analizamos estos datos de acuerdo a la valoración estática, un error en una medición articular de 4° , no es un error significativo a los fines de los tratamientos de rehabilitación.

Ahora bien, en el caso del valgo fisiológico, al cual no es posible realizarle un análisis de concordancia debido a que es un valor fijo, lo analizaremos desde el punto de vista de la exactitud y precisión.

- $X \sim N(5,67; 1,06^2)$

Para analizar la precisión se puede observar la desviación estándar, lo que correspondería al error aleatorio, la cual tiene un valor de 1.06° . Es un valor muy bajo, siendo que se trata de una muestra de $N=40$.

Por otro lado, si se mira el promedio de los residuos, este es de un valor de 5.67° , introduciendo un error sistemático en la medición del valgo fisiológico muy alto. Ya que un cambio de 5° en el valgo puede significar un cambio de tratamiento en el paciente, o la diferencia entre un valor normal y uno patológico.

Luego de estudiar este caso en particular observando las imágenes obtenidas con Kinect 2, se llegó a la conclusión que el error que se observa en este caso en particular, se da por una cuestión de la forma en que Kinect 2 toma las articulaciones.

Cuando el sistema capta el punto de la articulación de la cadera, lo toma en la cabeza del fémur. Sin embargo, cuando se mide el valgo fisiológico en goniometría, el reparo anatómico que se toma es el trocánter mayor del fémur. Esto se debe a que para medir el valgo fisiológico se usa el eje de la diáfisis femoral (cuerpo del hueso) y no el eje mecánico (en torno al cual se realizan los movimientos). Por lo tanto, el error se da porque éste se encuentra a algunos centímetros de la cabeza del fémur, lo que provoca que el ángulo que mide Kinect 2 sea diferente al ángulo real.

A continuación se incluye una ilustración de cómo se mide el valgo.

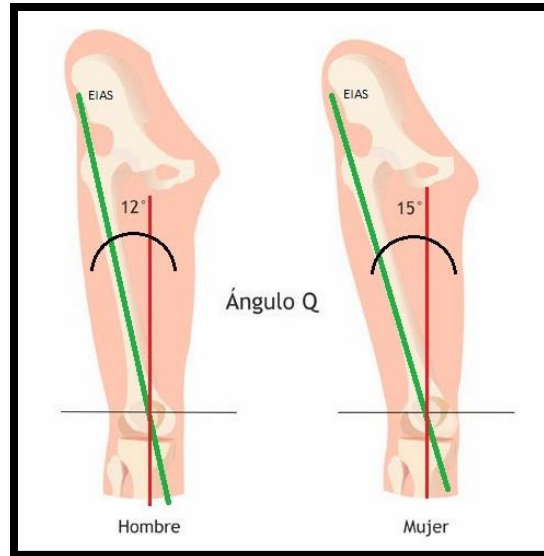


Ilustración 65: medición del valgo fisiológico⁸

En la imagen se puede observar como la línea verde, está alineada con el cuerpo del fémur (donde se encuentra el trocánter mayor) y no con el eje mecánico (cabeza del fémur).

⁸ Imagen obtenida de <http://fisioterapia.blogspot.com.ar/2014/01/el-angulo-q.html> última visita a la página 05/2017

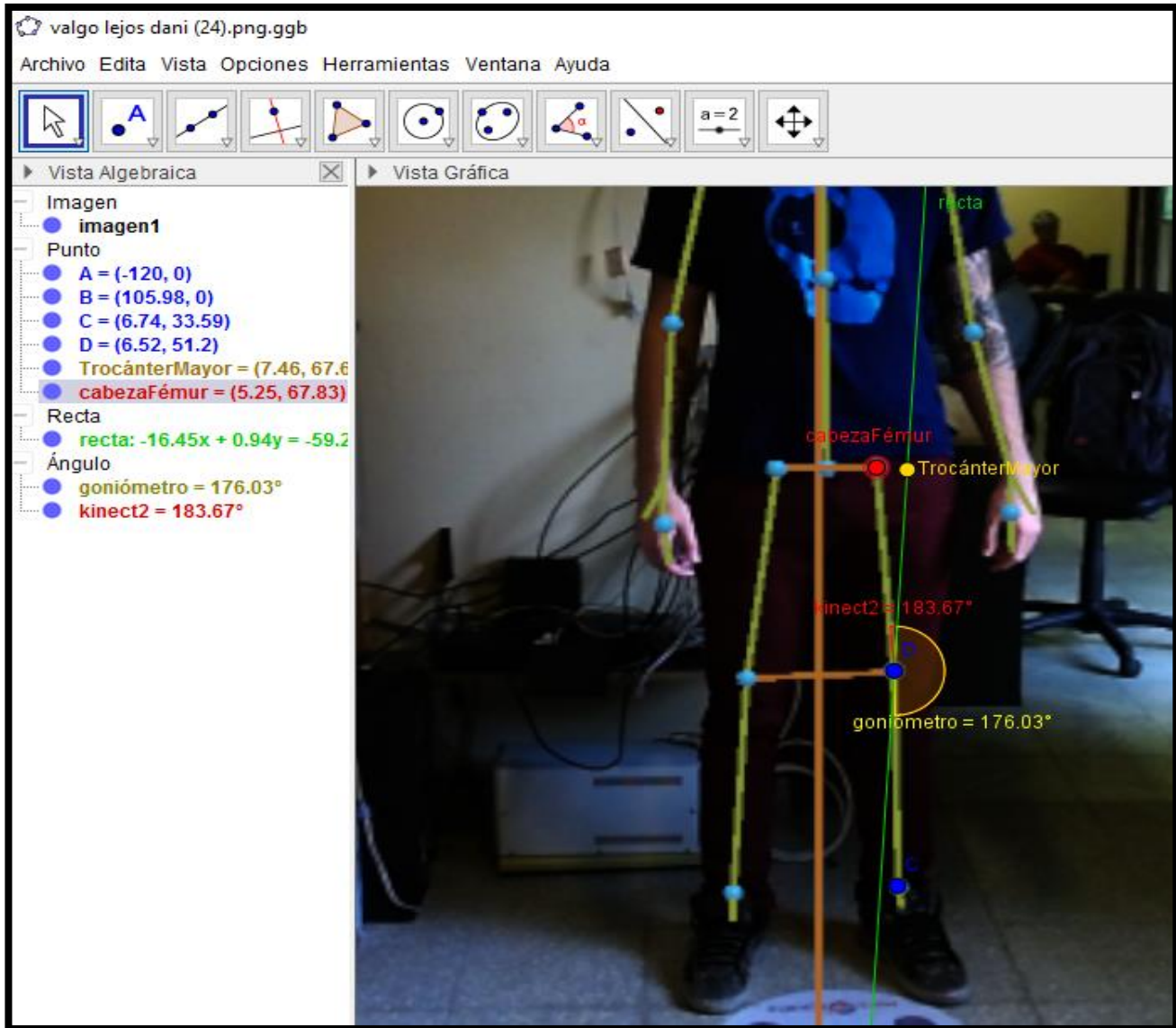


Ilustración 66: corrección de la medición del valgo fisiológico

Se hizo a modo de ejemplo en GeoGebra una medición del ángulo que midió Kinect 2 (basándonos en los puntos que dibujó) en el cual toma la cabeza del fémur como parámetro para medir el ángulo, el cual nos dio un valor muy cercano al que había calculado Kinect 2, y por otro lado se calculó el ángulo de acuerdo a donde se debería haber ubicado el punto para que el ángulo sea correcto, y el resultado fue muy cercano a los valores medidos con el goniómetro, por lo que se concluye que ese problema es el que ocasiona el error sistemático.

Por último, si analizamos las mediciones de la inclinación de los hombros, donde el coeficiente de Lin determinó una concordancia moderada, el caso es parecido al de la medición del cuello, la ecuación de la recta da un valor de pendiente más alejado a 1 que en la abducción de hombros, pero si observamos

el sesgo, el error corresponde a 1 centímetro, que de acuerdo a la valoración estática no es un error grande.

Incertidumbre de las mediciones

La incertidumbre de las mediciones es la suma entre el error sistemático y el error aleatorio.

Como se indicó anteriormente, el error sistemático está determinado con el sesgo, y el error aleatorio por el estudio de la precisión.

Las causas de la incertidumbre en las mediciones fueron explicadas de acuerdo a cada caso en particular, sin embargo, otras causas que pueden explicar los errores son:

- La vestimenta utilizada en el momento de la medición
- Baja iluminación
- Movimiento de la persona medida en el momento de la medición
- Movimiento de la persona entre la medición con la Kinect 2 y el goniómetro

Es importante indicar que también existen imprecisiones en las mediciones por factores que no pueden ser determinados o imponderables.

Precisión

Por último, con respecto a la precisión, como se mencionó en su análisis anteriormente, es posible advertir que la precisión del método es muy alta ya que en el caso de las mediciones de ángulos, la desviación estándar no llega a 1° en ninguno de los casos y por el lado de las mediciones de las inclinaciones, la desviación no llega a los 3 milímetros.

CONCLUSIONES

Conclusión de los resultados

Para poder realizar conclusiones del presente Proyecto Integrador, expondremos los objetivos originalmente planteados, a fin de identificar en qué medida fueron alcanzados.

Objetivo general:

- Determinar la confiabilidad y usabilidad de la consola Microsoft Kinect 2 como instrumento de medición para el cuerpo humano.

Objetivos específicos:

- Determinar la diferencia de las mediciones realizadas con la Kinect 2 en comparación con el instrumento tradicional de medición.
- Evaluar la capacidad de repetibilidad del método
- Establecer la incertidumbre de las mediciones
- Estimar la concordancia entre los instrumentos de medición que sean comparados.

Luego de haber realizado el Proyecto Integrador, se puede concluir que tanto el objetivo general como los objetivos específicos fueron alcanzados y que la Kinect 2 puede utilizarse para hacer mediciones en el cuerpo humano reemplazando a los métodos tradicionales que utilizan el goniómetro y software gráfico, ya que de acuerdo a los casos estudiados y los protocolos propuestos, los resultados del análisis fueron en todos los casos positivos.

En conclusión, se pudo comprobar y determinar que:

- La medición de Kinect 2 no se ve alterada por una modificación de la distancia focal, por lo que da el mismo resultado en mediciones a 2 metros que a 3 metros.
- La medición de Kinect 2 no se ve alterada por una diferencia considerable de altura entre las personas que se han medido.
- Kinect 2 mide con alta precisión, exactitud y concordancia tanto los ángulos como las distancias.
- Kinect 2 es un instrumento que posee la capacidad de repetibilidad ya que su precisión es alta cuando se mide el mismo elemento muchas veces en un momento determinado.

Análisis de error en mediciones del cuerpo humano con el dispositivo Kinect 2

- La medición del valgo fisiológico tiene un error sistemático debido al sistema de captura de información de Kinect 2, el cual puede ser resuelto vía software, como se menciona más adelante.
- Las mediciones de inclinación de cabeza son de menor calidad que las mediciones en hombro.

Es muy importante haber podido comprobar la intercambiabilidad de los métodos, ya que Motmi como método de medición posee muchas otras ventajas en el marco de la rehabilitación con respecto a los métodos tradicionales.

Soluciones para disminuir los errores en las mediciones

Debido a los errores causados por la posición en que Kinect 2 ubica las articulaciones, se decidió que los puntos que ésta ubica puedan ser modificados por el operador. Así, si se observa que un punto está en una posición equivocada, la persona que esté usando el dispositivo puede corregirlo y a continuación se volverán a calcular los valores de los puntos modificados. Esta solución es fundamentalmente importante en la medición del valgo, ya que de esta manera se puede ubicar el punto en el trocánter mayor del fémur para obtener el valor verdadero. También es importante para las mediciones de inclinación de cabeza, ya que no siempre Kinect 2 elige el punto correcto para realizar la medición.

Otra manera en la que se podrían solucionar los errores, sería haciendo una mayor cantidad de mediciones e introducir los resultados en una red neuronal que estime el valor que dicha medición debe tener, para que no sea necesario modificar los puntos manualmente y que el método vuelva a ser totalmente automático.

Resultados personales alcanzados a lo largo del desarrollo del proyecto integrador

Luego de finalizar el proyecto integrador, se concluye que el desarrollo del mismo permitió adquirir la capacidad de aprender diferentes temas. El desarrollo favoreció mucho no sólo en el aspecto profesional de aprender la teoría sino que también estimuló un desarrollo a nivel personal, ya que brindó la oportunidad de relacionarse con personas de diferentes especialidades que colaboraron de una u otra forma al proyecto desde el punto de vista ingenieril, tecnológico, social, de salud, entre otras.

Dentro de los objetivos alcanzados podemos mencionar:

- Determinar la calidad de las mediciones de la Kinect 2 como instrumento alternativo para realizar una valoración estática.

- Aprender sobre los procedimientos para analizar sistemas de medición
- Estudiar sobre los procesos estadísticos necesarios para analizar un sistema de medición
- Aprender cómo se deben tomar las mediciones para realizar un análisis de comparación de métodos.
- Integrar lo visto y aprendido en distintas asignaturas del plan de estudio de la carrera Ingeniería Biomédica.

Complicaciones principales encontradas

- Uno de los problemas principales que se presentó durante el proceso, fue poder encontrar personas con conocimientos sobre estadística aplicada a análisis de sistemas de medición y bioestadística.
- Elegir el método estadístico más apropiado para determinar la concordancia entre los instrumentos de acuerdo con la aplicación que se estudiaba.
- Elegir qué mediciones se iban a realizar, para que el estudio sea integrador del método pero que no caiga en el análisis de datos redundantes.
- Determinar la cantidad de muestras a realizar a cada una de las poblaciones para lograr que la misma sea representativa.
- Aprender a utilizar los diferentes instrumentos de medición para evitar introducir errores por una mala utilización.

Mejoras a futuro

A partir del análisis y experiencia lograda en el Proyecto Integrador, se detectan algunas mejoras que se podrían proponer para implementar a futuro:

- Ampliar el estudio aplicándolo en nuevas mediciones para que el mismo sea aún más abarcativo, aumentando su aplicabilidad, por ejemplo, medir en personas obesas, niños, a mayor distancia, etc.
- Estudiar si es posible utilizar una red neuronal para corregir el error en las mediciones.
- Realizar un estudio de este tipo sobre otras nuevas tecnologías que puedan ser utilizadas para realizar mediciones en rehabilitación, como por ejemplo el Leap Motion o un exoesqueleto de sensores inerciales.

Bibliografía

(s.f.).

AIAG. (2010). *Análisis de sistemas de medición*.

An, I. (s.f.). li. análisis de sistemas de medición. 1-9.

ArbelaezGroup. (11 de Marzo de 2011). *Slideshare-Kiect como funciona*. Recuperado el Febrero de 2017, de <https://es.slideshare.net/ArbelaezGroup/kinect-como-funciona-7228721>

Articular, C. V. (s.f.). Cap. 2. Valoración Articular. 12-22.

Balseiro, J. A. (1954). MEDICIONES FÍSICAS.

Boris Duffau, F. R. (2010). *Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de la medición: "Aspectos generales sobre la validación de métodos"*. Santiago de Chile.

CONTRASTES DE NORMALIDAD. (s.f.). Recuperado el mayo de 2017, de http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap5-6.htm

Diccionario de la Real Academia Española. (s.f.). Recuperado el mayo de 2017, de <http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=estad%C3%ADstica>

Duque, E. (s.f.). *edwinnui*. Recuperado el febrero de 2017, de <https://edwinnui.wordpress.com/2015/02/05/diferencias-entre-kinect-v1-y-kinect-v2-2/>

Echevarria, N. d. (2013). *Valoración postural*.

geociencias. (s.f.). Recuperado el abril de 2017, de <http://www.geociencias.unam.mx/~ramon/EstInf/Clase3.pdf>

Hohenwarter, M. (2017). *GeoGebra*. Obtenido de www.geogebra.org

Letona, M., Facultad, L., & Pedro, T. E. (2014). La eficacia de la realidad virtual en la rehabilitación de pacientes con ictus.

Mandeville, P. B. (2007). EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE CONCORDANCIA DE LIN. *ciencia UANL*, 91-94.

- Muñoz-Cardona, J. E., Henao-Gallo, O. A., & López-Herrera, J. F. (2013). Sistema de Rehabilitación basado en el Uso de Análisis Biomecánico y Videojuegos mediante el Sensor Kinect. *Tecno Lógicas*, págs. 43-54.
- Pita, S., & Pértegas, S. (2004). La fiabilidad de las mediciones clínicas: el análisis de concordancia para variables numéricas. *Atencion Primaria en la Red*, 1-11.
- Ramírez, E., & Moreno, J. e. (2014). Un Framework para la Rehabilitación Física en Miembros Superiores con Realidad Virtual. *Revista Venezolana de Computación*, 8-16.
- Ricardi, F. Q. (2011). Medidas de tendencia central y dispersión. *Medwave*.
- Sáez Ruiz, S. J., & Font Avila, L. (2001). Incertidumbre de la Medición: Teoría y Práctica. *L&S Consultores CA*, 88.
- Soporte de Minitab. (s.f.). Recuperado el mayo de 2017, de <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/hypothesis-tests/basics/what-is-a-hypothesis-test/>
- Soporte de Minitab. (s.f.). Recuperado el abril de 2017, de <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/regression-and-correlation/basics/types-of-regression-analyses/>
- Soporte de Minitab. (s.f.). Recuperado el Abril de 2017, de <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/hypothesis-tests/tests-of-means/why-use-paired-t/>
- Steel, R. a. (1960). *Principles and Procedures of Statistics with Special Reference to the Biological Sciences*. McGraw Hill.
- Taboadela, C. H. (2007). *Goniometria una herramienta para la evaluacion de las incapacidades*. Medicine.
- Tf, É. C.-r. (2010). DE PRUEBAS DIAGNÓSTICAS Statistical methods for evaluating diagnostic test agreement and reproducibility. págs. 247-255.
- www.indec.gob.ar*. (2017). Obtenido de <http://www.indec.gob.ar/>

ANEXOS

Anexo N°1: Mediciones del caso 1

n	Valor kinect 2	Valor goniómetro
1	83	84
2	84	85
3	91	87
4	88	87
5	85	86
6	53	57
7	82	82
8	86	85
9	84	84
10	88	84
11	88	83
12	90	81
13	87	84
14	85	83
15	90	91
16	85	82
17	83	79
18	87	85
19	87	83
20	90	91
21	88	84
22	86	85
23	89	86
24	86	87
25	86	87
26	89	90
27	88	84
28	88	83
29	88	90
30	90	89
31	89	90
32	88	92
33	87	88
34	91	92
35	88	89
36	88	87
37	90	90
38	88	90
39	87	90
40	89	92
41	51	51
42	42	40
43	43	48
44	68	64
45	63	59
46	70	67
47	68	68
48	50	46
49	53	54
50	76	72
51	59	56
52	26	29
53	8	12
54	50	51
55	60	57

Tabla 5: mediciones del caso 1

Anexo N°2: Mediciones del caso 2

n	Valor kinect 2	Valor goniómetro
1	11	18
2	22	22
3	17	22
4	17	18
6	22	25
7	22	25
8	23	24
10	16	19
12	20	24
13	19	22
14	22	22
15	23	28
16	16	21
17	16	20
19	22	26
21	22	24
22	17	22
23	23	25
24	21	22
25	21	24
26	19	22
27	17	20
28	17	21
29	20	24
30	21	23
31	23	22
32	23	21
33	17	18
34	17	22
35	18	15
36	16	18
37	16	19
38	3	6
39	12	12
40	15	20
41	4	2
42	5	0
43	5	2
44	5	6
45	1	1
46	8	10
47	1	2
48	16	20
49	2	6
50	14	16
51	11	15
52	12	14

Tabla 6: mediciones del caso 2

Anexo N°3: Análisis del caso 3

n	Valor kinect 2	Valor goniómetro
1	181	176
2	182	177
3	184	178
4	185	177
5	184	178
6	184	177
7	185	178
8	184	179
9	182	179
10	184	179
11	184	177
12	184	179
13	183	177
14	184	178
15	182	178
16	184	179
17	183	177
18	184	178
19	182	177
20	185	179
21	184	179
22	183	176
23	183	178
24	184	178
25	182	179
27	183	177
28	183	178
29	184	178
30	184	177
31	183	178
32	183	178
33	183	177
34	184	179
35	183	177
36	183	176
37	183	178
38	184	178
39	184	177
40	184	178

Tabla 7: mediciones del caso 3

Anexo N°4: Análisis del caso 4

n	Valor kinect 2	Valor goniómetro
1	90	90
2	56	53
3	86	84
4	91	90
5	78	78
6	84	79
7	81	74
8	87	84
9	82	84
10	82	85
11	75	72
12	48	44
13	75	72
14	72	68
15	70	69
16	77	76
17	63	63
18	79	79
19	85	85
20	58	58
21	81	80
22	72	72
23	73	76
24	72	71
25	79	77
26	76	74
27	63	59
28	53	53
29	50	50
30	76	76
31	80	76
32	76	73
33	75	75
34	78	78
35	83	85
36	87	87
37	84	81
38	88	89
39	85	85
40	92	90

Tabla 8: mediciones del caso 4

Anexo N°5: Mediciones del caso 5

n	Valor kinect 2	Valor goniómetro
1	54	60
2	58	56
3	49	50
4	50	52
5	41	44
6	40	43
7	55	59
8	13	20
9	44	43
10	42	46
11	50	50
12	40	43
13	49	48
14	54	52
15	48	46
16	42	41
17	49	46
18	52	49
19	53	49
20	54	51
21	50	45
22	55	51
23	59	58
24	62	63
25	59	59
26	62	62
27	58	64
28	41	46
29	56	56
30	42	47
31	36	38
32	61	62
33	59	58
34	60	60
35	41	40
36	37	41
37	68	72
38	70	72
39	55	56
40	50	58
41	52	54
42	53	50
43	60	58
44	43	40
45	19	22
46	69	67
47	58	58
48	92	90
49	41	39
50	43	41
51	67	65
52	73	72
53	8	12
54	24	20
55	43	41

Tabla 9: mediciones del caso 5

Anexo N°6: Análisis del caso 6

n	Valor kinect 2	Valor goniómetro
1	12	17
2	3	6
3	19	26
4	7	11
5	0	2
6	19	25
7	14	14
8	8	8
9	5	4
10	24	30
11	23	22
12	14	18
13	15	18
14	12	15
15	13	15
16	2	3
17	15	15
18	13	15
19	10	9
20	35	39

Tabla 10: mediciones del caso 6

Anexo N°7: Análisis del caso 7

n	Valor Kinect 2	Valor GeoGebra
1	1,6	1,3
2	3,4	3,6
3	7,6	9,9
5	0,7	2,5
6	0,7	1
7	2,1	3,7
8	4,4	6,9
9	5,4	6
10	1,6	3,4
11	5,6	7
12	4,7	5
13	7,1	9,4
14	11,5	13,4
15	1,1	1,3
16	3	3,5
17	4,4	5
18	2,6	3,5
19	0,3	0,8
20	7,7	10,3
21	0,2	0,8
22	4,8	5,4
23	3,6	3,4
24	8,9	8,5
25	8,2	10
26	0,3	1,5

Tabla 11: mediciones del caso 7

Anexo N°8: Mediciones del maniquí

repetición	abducción de hombro derecho (grados)	abducción hombro izquierdo (grados)	inclinación de hombros (cm)	inclinación de cadera (cm)
1	12,00	12,00	0	0,5
2	12,00	11,00	0,5	0,7
3	14,00	10,00	0,5	0,6
4	15,00	9,00	0,2	0,4
5	14,00	10,00	0,2	0,6
6	13,00	10,00	0,1	0,2
7	14,00	10,00	0,1	0
8	14,00	11,00	0,2	0,1
9	13,00	11,00	0,1	0,2
10	13,00	10,00	0	0,4
11	12,00	10,00	0,1	0,6
12	14,00	11,00	0	0,1
13	14,00	10,00	0,2	0,1
14	14,00	11,00	0,1	0,2
15	14,00	11,00	0,7	0,6
16	14,00	10,00	0,1	0,2
17	13,00	11,00	0,1	0,1
18	13,00	11,00	0,1	0,9
19	15,00	11,00	0	0,3
20	14,00	11,00	0,2	0
21	15,00	11,00	0,2	0
22	14,00	12,00	0,2	0,1
23	14,00	12,00	0,2	0,3
24	13,00	12,00	0,2	0,3
25	13,00	12,00	0,2	0,2
26	14,00	12,00	0,1	0,5
27	12,00	13,00	0,1	1,2
28	11,00	12,00	0,3	0,1
29	14,00	10,00	0,3	0,2
30	13,00	11,00	0,1	0,2
31	14,00	10,00	0,1	0
32	14,00	10,00	0,1	0
33	15,00	11,00	0,2	0,1
34	13,00	11,00	0,1	1
35	13,00	11,00	0,1	0,2
36	13,00	12,00	0,3	0,4
37	15,00	11,00	0,4	0,4
38	13,00	11,00	0,6	0,2
39	12,00	12,00	0,1	0,2
40	14,00	11,00	0,4	0,1

Tabla 12: mediciones del maniquí