

**ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA INTENSIDAD,
FRECUENCIA Y UBICACIÓN ESPACIAL DE
LA FUENTE LUMÍNICA EN LA PRECISIÓN DE
LA ESTIMACIÓN DEL CENTRO DE
GRAVEDAD DE UN SER HUMANO EN FASE
DE BIPEDESTACIÓN UTILIZANDO EL
DISPOSITIVO MICROSOFT KINECT**



**ANDRÉS CRUZ LÓPEZ
CARLOS ARMANDO LAGOS CAICEDO**

Director: M.Sc Pablo Eduardo Caicedo Rodríguez.
Codirector: Ph.D. Carlos Felipe Rengifo Rodas.

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones
Popayán, 2017

**ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA INTENSIDAD,
FRECUENCIA Y UBICACIÓN ESPACIAL DE
LA FUENTE LUMÍNICA EN LA PRECISIÓN DE
LA ESTIMACIÓN DEL CENTRO DE
GRAVEDAD DE UN SER HUMANO EN FASE
DE BIPEDESTACIÓN UTILIZANDO EL
DISPOSITIVO MICROSOFT KINECT**

ANDRÉS CRUZ LÓPEZ
CARLOS ARMANDO LAGOS CAICEDO

Trabajo de grado presentado a la Facultad de Ingeniería
Electrónica y Telecomunicaciones de la
Universidad del Cauca para la obtención del Título de:
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Director: M.Sc Pablo Eduardo Caicedo Rodríguez.
Codirector: Ph.D. Carlos Felipe Rengifo Rodas.

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones
Popayán, 2017

Dedicado a Ingenieros y compañeros de la Universidad del Cauca quienes aportaron su grano de arena a la culminación de este importante proyecto y en especial a nuestras familias, padres y hermanos.

Agradecimientos

¡Quiero darles las gracias en especial a mis Padres, quienes fueron el principal apoyo moral y físico durante toda mi vida. A mis hermanos quienes demostraron con sus actos los deseos sinceros de verme progresar. A mis tíos por su ayuda incondicional y valiosos consejos. A mis amigos y compañeros quienes que siempre estuvieron presentes cuando más se los necesitaba y que participaron de forma directa o indirecta en la construcción de este proyecto. Además quiero agradecer a mi director y codirector por participar y ser la guía en cada una de las fases de construcción a lo largo del trabajo. Muchas gracias a todos. !

Andrés.

¡ Gracias a Dios padre creador por darme la fortaleza y sabiduría para culminar mis estudios académicos, a mis padres por el apoyo incondicional y el consejo sincero en todas las etapas de mi vida, a mis abuelos por que han sembrado en mí una semilla de trabajo y perseverancia que me ha permitido luchar hasta alcanzar mis metas, a mis hermanos por el amor incondicional y tiempo para escuchar mis inquietudes, a mis tíos y tías por el cariño y cuidados recibidos, por último y no menos importantes a todas las personas que nos apoyaron en este trabajo y sacaron de su tiempo para leer o generarnos algún aporte. Mil y mil gracias. !

Carlos.

Índice general

Agradecimientos	II
Lista de Figuras.	VIII
Lista de Tablas.	X
1. Introducción	1
1.1. Objetivos	4
1.1.1. Objetivo General	4
1.1.2. Objetivos específicos	4
2. Estado del Arte	5
2.1. Proceso de construcción del estado del arte	9
2.1.1. Análisis de documentos	10
2.1.2. Análisis comparativo y discusión	16
3. Marco Teórico	19
3.1. Luz	19
3.1.1. Percepción de luz	19
3.1.2. Espectro electromagnético y espectro visible	19
3.1.3. Intensidad de luz:	21
3.1.4. Frecuencia	22
3.1.5. Luz natural y luz artificial	22
3.1.6. Fuentes de luz artificial	23

3.1.7.	Posición espacial de la fuente de luz	26
3.2.	Centro de Gravedad	30
3.2.1.	Localización	30
3.2.2.	Estimación del CoG	32
3.3.	Dispositivo Kinect	37
3.3.1.	Controlador del dispositivo	38
3.3.2.	Elección del Kit de Desarrollo de Software (SDK) oficial de Microsoft Kinect para Windows	39
3.3.3.	Adquisición de datos y estimación del CoG	39
4.	Método	42
4.1.	Adecuación del sitio de pruebas	42
4.1.1.	Dimensiones	44
4.1.2.	Posicionamiento de los principales actores dentro del cuarto de pruebas	45
4.1.3.	Fuentes lumínicas	46
4.2.	Protocolo de toma de datos	48
4.2.1.	Posicionar las fuentes de luz	48
4.2.2.	Verificar y adecuar el sistema	52
4.2.3.	Ingresar al participante al cuarto de pruebas	52
4.2.4.	Variar el color de la iluminación (rojo, verde, azul)	53
4.2.5.	Variar la intensidad lumínica	54
4.3.	Procedimiento	55
4.3.1.	Toma de datos	55
5.	Análisis de resultados	63
5.1.	Proceso para el análisis de resultados	63
5.1.1.	Análisis de datos para participante humano	66
5.1.2.	Análisis de datos para el participante referencia	72
5.2.	Resultados para el resto de participantes	78
5.2.1.	Por color de luz	78

5.2.2.	Por intensidad de luz	79
5.2.3.	Por posición de las fuentes de luz	82
6.	Conclusiones y trabajos futuros	86
6.1.	Conclusiones	86
6.1.1.	conclusiones preliminares:	86
6.1.2.	conclusiones finales:	88
6.2.	Trabajos futuros	88
A.	Tablas para los datos estadísticos por variación de color de luz.	90
A.1.	Participante 2	90
A.1.1.	Parámetros del Diagrama de Caja y Bigotes	90
A.1.2.	Desviación estándar	91
A.1.3.	Tabla Multicriterio	92
A.2.	Participante 3.	92
A.2.1.	Parámetros del diagrama de caja y bigotes	92
A.2.2.	Desviación estándar	94
A.2.3.	Tablas Multicriterio	94
A.3.	Participante 4.	95
A.3.1.	Parámetros del diagrama de caja y bigotes	95
A.3.2.	Desviación estándar	96
A.3.3.	Tablas multicriterio	97
B.	Tablas para los datos estadísticos por variación de intensidad de luz.	98
B.1.	Participante 1.	98
B.1.1.	Parámetros del diagrama de caja y bigotes	98
B.1.2.	Desviación estándar	99
B.1.3.	Tabla Multicriterio	100
B.2.	Participante 2.	100
B.2.1.	Parámetros del diagrama de caja y bigotes	100
B.2.2.	Desviación estándar	101

B.2.3. Tabla multicriterio	102
B.3. Participante 3.	102
B.3.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes	102
B.3.2. Desviación estándar	103
B.3.3. Tabla Multicriterio	104
B.4. Participante 4.	104
B.4.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes	104
B.4.2. Desviación estándar	106
B.4.3. Tabla multicriterio	106
B.5. Participante 5.	107
B.5.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes	107
B.5.2. Desviación estándar	108
B.5.3. Tabla Multicriterio	109
C. Tablas para los datos estadísticos por variación de posición de las fuentes lumínicas.	110
C.1. Participante 1.	110
C.1.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes	110
C.1.2. Desviación estándar	112
C.1.3. Tabla Multicriterio	112
C.2. Participante 2.	113
C.2.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes	113
C.2.2. Desviación estándar	114
C.2.3. Tabla multicriterio	115
C.3. Participante 3.	115
C.3.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes	115
C.3.2. Desviación estándar	117
C.3.3. Tabla Multicriterio	117
C.4. Participante 4.	118
C.4.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes	118

C.4.2. Desviación estándar	119
C.4.3. Tabla multicriterio	120
C.5. Participante 5.	120
C.5.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes	120
C.5.2. Desviación estándar	122
C.5.3. Tabla Multicriterio	122

Índice de figuras

1.1. Algunos objetos con el CoG por fuera del material. Fuente: Fisioterapia, (2015). Extraído de: “Todo sobre el centro de gravedad”	2
2.1. Segmentación.	6
3.1. Composición del espectro electromagnético. Fuente: Sirlin, Eli (2006). . .	20
3.2. Luxómetro Digital	22
3.3. La bombilla es el tipo de fuente incandescente más común. Aquí se presentan las partes que normalmente la conforman. Fuente: Lámpara incandescente.	24
3.4. Fuentes fluorescentes.	25
3.5. Luz cenital.	27
3.6. Contraluz.	27
3.7. Lateral.	28
3.8. Frontal.	29
3.9. Nadiral.	29
3.10. Diagonal.	30
3.11. Ubicación del CoG en los humanos. Fuente: Fisioterapia, (2015). Extraído de: “Todo sobre el centro de gravedad”.	31
3.12. Estimación del CoG con el método de Reynolds y Lovett. Fuente: Calculo de la altura del CoG con la tabla de Reynolds y Lovett.	33
3.13. Estimación del CoG mediante la plataforma equilátera de Basler. Fuente: Algoritmos para la medición de centros de gravedad corporal en plataformas convencionales. Arcila, Juan (2013).	34
3.14. Plataforma de fuerza y Tabla de equilibrio Wii.	35

3.15. Puntos anatómicos y segmentos más habituales utilizados en los modelos biomecánicos. Fuente: Soto, V.M. y Gutiérrez, M. (1996).	36
3.16. Segmentos del cuerpo que representa el esqueleto humano. Los puntos representan las articulaciones principales. Fuente: Dutta, Arindam. 2013	40
4.1. Cuarto abierto, en horas del día	43
4.2. Cuarto encerrado con material oscuro, iluminado con luz led	44
4.3. Imágenes de la altura a la cual se coloca el dispositivo Kinect.	45
4.4. Fuentes led usadas en la iluminación del cuarto. Fuente: E27 3W LED globo bulbo RGB 7 Color control remoto.	46
4.5. Extensión de la red eléctrica sobre el techo del cuarto	48
4.6. Medidas principales. Distancia Kinect-Paciente en persona de 1,80 m es de 2,20 m. Ubicación del punto (P) justo encima del participante.	49
4.7. Primera posición de las fuentes. Vista del cuarto desde encima.	50
4.8. Segunda posición de las fuentes. Vista del cuarto desde encima.	50
4.9. Tercera posición de las fuentes. Vista del cuarto desde encima.	51
4.10. Cuarta posición de las fuentes. Vista del cuarto desde encima.	52
4.11. Posición en bipedestación frontal y lateral.	56
4.12. Diagrama UML de casos de uso para los participantes. Fuente: Propia .	57
4.13. Diagrama UML de casos de uso para los Administradores. Fuente: Propia	57
4.14. Diagrama UML de clase para el sistema. Fuente: Propia	58
4.15. Diagrama UML de secuencia para el usuario. Fuente: Propia	59
4.16. Diagrama UML de secuencia para el administrador. Fuente: Propia . . .	60
5.1. Gráfica de caja y bigotes para el análisis estadístico. Fuente: Propia . . .	64

Índice de tablas

2.1. Parámetros inerciales aportados por Clauser et al. Fuente: Soto, V.M. y Gutiérrez, M. (1996).	7
2.2. Artículos Seleccionados.	10
3.1. Características del dispositivo Kinect.	38
4.1. Especificaciones de las fuentes usadas para la iluminación del cuarto.	47
4.2. Proceso de captura de datos.	61
5.1. Datos del IQR obtenidos para el CoG.	66
5.2. Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.	67
5.3. Datos obtenidos del RT para CoG.	68
5.4. Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.	68
5.5. Número de DA obtenidos por cada color de luz en el CoG y todas las articulaciones.	69
5.6. Resultados de D.E. en la coordenada X.	69
5.7. Resultados de DE en la coordenada Y.	70
5.8. Resultados de D.E. en la coordenada Z.	70
5.9. Puntajes obtenido para el Participante 1.	71
5.10. Datos del IQR obtenidos para el CoG.	73
5.11. Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.	73
5.12. Datos obtenidos del RT para CoG.	74
5.13. Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.	74

5.14. Número de DA obtenidos por cada color de luz en el CoG y todas las articulaciones.	75
5.15. Resultados de D.E. en la coordenada X.	75
5.16. Resultados de DE en la coordenada Y.	76
5.17. Resultados de D.E. en la coordenada Z.	76
5.18. Tablas multicriterio para el Participante 5.	77
5.19. Puntaje obtenido para el participante 2.	78
5.20. Puntaje obtenido para el participante 3.	78
5.21. Puntaje obtenido para el participante 4.	79
5.22. Puntaje obtenido para el participante 1.	80
5.23. Puntaje obtenido para el participante 2.	80
5.24. Puntaje obtenido para el participante 3.	81
5.25. Puntaje obtenido para el participante 4.	81
5.26. Puntaje obtenido para el participante 5.	81
5.27. Puntaje obtenido para el participante 1.	82
5.28. Puntaje obtenido para el participante 2.	82
5.29. Puntaje obtenido para el participante 3.	83
5.30. Puntaje obtenido para el participante 4.	83
5.31. Puntaje obtenido para el participante 5.	84
A.1. Datos del IQR obtenidos para el CoG.	90
A.2. Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.	90
A.3. Datos obtenidos del RT para CoG.	91
A.4. Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.	91
A.5. Número de DA obtenidos por cada color de luz en el CoG y todas las articulaciones.	91
A.6. Resultados de D.E. en la coordenada X.	91
A.7. Resultados de D.E. en la coordenada Y.	92
A.8. Resultados de D.E. en la coordenada Z.	92
A.9. Tablas multicriterio para el Participante 2.	92

A.10.Datos del IQR obtenidos para el CoG.	92
A.11.Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.	93
A.12.Datos obtenidos del RT para CoG.	93
A.13.Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.	93
A.14.Número de DA obtenidos por cada color de luz en el CoG y todas las articulaciones.	93
A.15.Resultados de D.E. en la coordenada X.	94
A.16.Resultados de DE en la coordenada Y.	94
A.17.Resultados de D.E. en la coordenada Z.	94
A.18.Tablas Multicriterio para el análisis del Color de luz. Participante 3. . .	94
A.19.Datos del IQR obtenidos para el CoG.	95
A.20.Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.	95
A.21.Datos obtenidos del RT para CoG.	95
A.22.Valores promedio de los RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.	95
A.23.Número de DA obtenidos por cada color de luz en el CoG y todas las articulaciones.	96
A.24.Resultados de D.E. en la coordenada X.	96
A.25.Resultados de Desviación D.E. en la coordenada Y.	96
A.26.Resultados de D.E. en la coordenada Z.	96
A.27.Tablas Multicriterio para el análisis del Color de luz. Participante 4. . .	97
B.1. Datos del IQR obtenidos para el CoG.	98
B.2. Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.	98
B.3. Datos obtenidos del RT para CoG.	99
B.4. Valores promedio de los RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.	99
B.5. Número de DA obtenidos en el CoG y todas las articulaciones.	99
B.6. Resultados de D.E. en la coordenada X.	99
B.7. Resultados de D.E. en la coordenada Y.	99

B.8. Resultados de D.E. en la coordenada Z.	100
B.9. Tabla Multicriterio para el análisis de Intensidad de luz. Participante 1.	100
B.10. Datos del IQR obtenidos para el CoG.	100
B.11. Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.	100
B.12. Datos obtenidos del RT para CoG.	101
B.13. Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.	101
B.14. Número de DA obtenidos en el CoG y todas las articulaciones.	101
B.15. Resultados de D.E. en la coordenada X.	101
B.16. Resultados de D.E. en la coordenada Y.	101
B.17. Resultados de D.E. en la coordenada Z.	102
B.18. Tabla Multicriterio para el análisis de la Intensidad de luz. Participante 2.	102
B.19. Datos del IQR obtenidos para el CoG.	102
B.20. Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.	102
B.21. Datos obtenidos del RT para CoG.	103
B.22. Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.	103
B.23. Número de DA obtenidos por cada color de luz en el CoG y todas las articulaciones.	103
B.24. Resultados de D.E. en la coordenada X.	103
B.25. Resultados de D.E. en la coordenada Y.	104
B.26. Resultados de D.E. en la coordenada Z.	104
B.27. Tabla Multicriterio para el análisis de Intensidad de luz.	104
B.28. Datos del IQR obtenidos para el CoG.	104
B.29. Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.	105
B.30. Datos obtenidos del RT para CoG.	105
B.31. Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.	105
B.32. Número de DA obtenidos por cada color de luz en el CoG y todas las articulaciones.	105
B.33. Resultados de D.E. en la coordenada X.	106

B.34.Resultados de D.E. en la coordenada Y.	106
B.35.Resultados de D.E. en la coordenada Z.	106
B.36.Tabla Multicriterio para el análisis de la intensidad de luz. Participante 4.	106
B.37.Datos del IQR obtenidos para el CoG.	107
B.38.Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.	107
B.39.Datos obtenidos del RT para CoG.	107
B.40.Valores promedio de los RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.	107
B.41.Número de DA obtenidos en el CoG y todas las articulaciones.	108
B.42.Resultados de D.E. en la coordenada X.	108
B.43.Resultados de D.E. en la coordenada Y.	108
B.44.Resultados de D.E. en la coordenada Z.	108
B.45.Tabla Multicriterio para el análisis de Intensidad de luz. Participante 5.	109
C.1. Datos del IQR obtenidos para el CoG.	110
C.2. Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.	111
C.3. Datos obtenidos del RT para CoG.	111
C.4. Valores promedio de los RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.	111
C.5. Número de DA obtenidos en el CoG y todas las articulaciones.	111
C.6. Resultados de D.E. en la coordenada X.	112
C.7. Resultados de D.E. en la coordenada Y.	112
C.8. Resultados de D.E. en la coordenada Z.	112
C.9. Tabla Multicriterio para el análisis de Posición de las fuentes. Partici- pante 1	112
C.10.Datos del IQR obtenidos para el CoG.	113
C.11.Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.	113
C.12.Datos obtenidos del RT para CoG.	113
C.13.Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.	114
C.14.Número de DA obtenidos en el CoG y todas las articulaciones.	114

C.15.Resultados de D.E. en la coordenada X.	114
C.16.Resultados de D.E. en la coordenada Y.	114
C.17.Resultados de D.E. en la coordenada Z.	115
C.18.Tabla Multicriterio para el análisis de Posición de las fuentes. Participante 2.	115
C.19.Datos del IQR obtenidos para el CoG.	115
C.20.Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.	116
C.21.Datos obtenidos del RT para CoG.	116
C.22.Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.	116
C.23.Número de DA obtenidos por cada color de luz en el CoG y todas las articulaciones.	116
C.24.Resultados de D.E. en la coordenada X.	117
C.25.Resultados de D.E.) en la coordenada Y.	117
C.26.Resultados de D.E. en la coordenada Z.	117
C.27.Tabla Multicriterio para el análisis de Posición de las fuentes. Participante 3.	117
C.28.Datos del IQR obtenidos para el CoG.	118
C.29.Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.	118
C.30.Datos obtenidos del RT para CoG.	118
C.31.Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.	119
C.32.Número de DA obtenidos por cada color de luz en el CoG y todas las articulaciones.	119
C.33.Resultados de D.E. en la coordenada X.	119
C.34.Resultados de D.E. en la coordenada Y.	119
C.35.Resultados de D.E. en la coordenada Z.	120
C.36.Tabla Multicriterio para el análisis de Posición de las fuentes. Participante 4.	120
C.37.Datos del IQR obtenidos para el CoG.	120
C.38.Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.	121

C.39.Datos obtenidos del RT para CoG.	121
C.40.Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.	121
C.41.Número de DA obtenidos en el CoG y todas las articulaciones.	121
C.42.Resultados de D.E. en la coordenada X.	122
C.43.Resultados de D.E. en la coordenada Y.	122
C.44.Resultados de D.E. en la coordenada Z.	122
C.45.Tabla Multicriterio para el análisis de Posición de las fuentes. Partici- pante 5	122

Capítulo 1

Introducción

El Centro De Gravedad, a partir de ahora CoG (por sus siglas en inglés), tiene gran importancia en diferentes áreas, ya sea en una clase de Biomecánica, Kinesiología, Ciencias del Deporte, e inclusive sobre la postura¹. La definición del CoG se resume en los siguientes conceptos[1]:

- Es un punto en donde se representa el centro de peso de un cuerpo.
- Es el lugar en donde todas las partes del cuerpo se equilibran de forma precisa unas a otras.
- Todo el peso corporal se concentra en ese sitio.
- Es un punto en donde todos los planos del cuerpo se interceptan unos a otros.

Este parámetro puede ubicarse en diferentes lugares del cuerpo, no necesariamente dentro de la materia, es decir que por ejemplo en una rosquilla, un Cd, o un objeto con forma de aro el CoG se encuentra en el círculo donde no hay material, ya sea dentro del cuerpo o fuera de él, al igual que en un balón se encuentra justo en el centro del mismo donde sólo hay aire comprimido (ver Figura.1.1) [2]. En los seres vivos la ubicación del CoG depende de varios factores tales como: la estructura anatómica, la morfología individual, las posturas habituales, los movimientos, el hecho de sostener pesos externos, la edad y el sexo [1].

Un tema en el que se encuentra con frecuencia es en la estabilidad de los cuerpos, debido a que la función principal del equilibrio es mantener el control del CoG dentro

¹Fuente de la información <http://fisioterapia.blogspot.com.co/2015/09/todo-sobre-el-centro-de-gravedad-en-el.html>



Figura 1.1: Algunos objetos con el CoG por fuera del material. Fuente: Fisioterapia, (2015). Extraído de: “Todo sobre el centro de gravedad”

de la base de apoyo [3, 4]. Debido a esto diferentes áreas tales como: biomecánica, kinesiología y ciencias del deporte, han realizado estudios sobre los seres humanos mediante el análisis del movimiento corporal [3, 5, 6]. Por lo tanto, es importante obtener una estimación precisa desde diferentes campos del saber.

La estimación del CoG se la puede realizar usando diferentes métodos², los cuales permiten determinar su posición [7]. En los seres vivos, específicamente en los humanos, la situación es más complicada debido a la morfología y movimiento de las personas; por esa razón tiempo atrás se hacía uso de cadáveres, sobre los cuales se realizaba una estimación con el método de “segmentación del cuerpo” o “segmentario”³ [8]; actualmente la tecnología de escaneo hace uso de este método, facilitando un análisis en personas vivas, sobre todo en el análisis biomecánico.

La estimación del CoG en personas con tecnología de escaneo en tres dimensiones, ha evolucionado considerablemente en los últimos años, principalmente para obtener de manera sencilla y precisa su posición espacial; dentro de las tecnologías se pueden encontrar productos de todo precio, precisión y resolución; la importancia de un sistema de bajo costo que cumpla con las especificaciones requeridas para determinado proyecto es indispensable [9].

Muchos sensores disponibles actualmente en el mercado pueden lograr costos accesibles, pero aún así tienen inconvenientes en cuanto a portabilidad y modo de uso [4, 10]. Sin embargo, la aparición del sensor Kinect ha permitido lidiar con alguno de estos aspectos haciendo uso de las cámaras infrarroja y RGB [11, 12], que al ser usadas junto con el software patentado de Kinect es capaz de procesar color, profundidad, realizar

²Los métodos de estimación del CoG se presentaran en la sección Estado del arte del capítulo 3(2) [1]

³Proceso en el cual los cadáveres se fraccionan en extremidades, tronco y cabeza para realizar una estimación de cada una y que finalmente mediante la sumatoria se obtenga la posición final con buena precisión [8]. El método se explica con mayor detalle en la sección 2

segmentación corporal⁴ [8] y detectar movimientos [13, 14].

Sin embargo, la principal desventaja que presentan los dispositivos Kinect es su susceptibilidad a los cambios de iluminación en la escena producidos generalmente por la luz solar [15, 16], así como la ubicación espacial al objeto de estudio, lo que produciría una captura de información errónea y baja precisión en la estimación del CoG [1]; este fenómeno está dado en su mayoría por la componente de iluminación infrarroja ; la cual afecta la cámara de profundidad, principalmente, generando imágenes ruidosas [16, 17, 18]. El problema surge debido a que las ondas del espectro infrarrojo provenientes del sol se mezclan con las generadas por el dispositivo [9, 15], las cuales la cámara IR⁵ no sabría diferenciarlas, por otro lado el cambio de posición y de intensidad a diferentes horas del día hace que el dispositivo también sea afectado.

Dadas las ventajas que ofrece Kinect y al problema que presenta su cámara IR, surge la necesidad de realizar un estudio, el cual permita visualizar la fiabilidad del cálculo del COG ante la variación de algunas características lumínicas.

Con los resultados obtenidos mediante este trabajo se espera contribuir al camino hacia la optimización de los sistemas de captura de movimiento, además de mejorar la relación costo-beneficio de la estimación del CoG, dando pie a investigaciones futuras que permitan aumentar la precisión de los resultados entregados por el dispositivo Kinect a la hora de analizar un factor tan importante como lo es el CoG. Esto será de gran importancia para la salud y otras áreas que estudian el comportamiento de este parámetro, permitiendo observar su comportamiento y así mejorar los tratamientos de cualquier clase de persona que padezca problemas de equilibrio [15, 19].

El presente trabajo de grado recopila lo descrito anteriormente y consta de 6 capítulos organizados de la siguiente manera:

El capítulo uno, denominado **introducción**, presenta una descripción general del trabajo de grado. En el segundo capítulo **“Estado del Arte”** se presenta el estado del arte, donde a partir de los diferentes artículos científicos de investigación, encontrados en las diversas bases de datos especializadas, se realizó una lectura y análisis con el objetivo de identificar y clasificar aquellos que pudiesen aportar de manera más significativa al tema particular del presente trabajo.

En el tercer capítulo (**“Marco teórico”**) se introducen diferentes conceptos: iniciando con información acerca de luz y las condiciones que se manejan en el presente trabajo; acto seguido, se describe la diferencia entre luz natural, artificial y las fuentes que la generan. Posteriormente en este mismo capítulo se presenta información de la localización y estimación del CoG en personas. Finalmente, en este mismo apartado se

⁴Proceso en el cual las personas se fraccionan en extremidades, tronco y cabeza en segmentos que se unen en las articulaciones [8]. El método se explica con mayor detalle en la sección 2

⁵Cámara de Infrarrojos

describen los componentes del Kinect y el funcionamiento en cuanto a la captura de datos.

El capítulo cuarto, llamado “**Método**”, expone el protocolo establecido para la ejecución del programa de investigación, se hace mención a los materiales necesarios para la adecuación del cuarto, las tareas a ejecutar por parte de los sujetos y los recursos necesarios para llevar a cabo los experimentos. Posteriormente se presenta una descripción de las tareas necesarias para obtener la información con el objetivo de preparar los datos para su análisis estadístico.

El capítulo cinco en el cual aparecen los **Análisis de resultados**, se presenta los resultados conseguidos respecto a los objetivos de la tesis y finalmente, el capítulo seis exponen las **Conclusiones** obtenidas a partir de los resultados, planteándose también los **Trabajos futuros**.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Determinar el efecto de la intensidad, frecuencia y ubicación espacial de las fuentes de iluminación en la precisión de la estimación del centro de gravedad de un ser humano en fase de bipedestación utilizando el dispositivo Kinect V1.

1.1.2. Objetivos específicos

- Definir el protocolo de experimentación que se utilizara para la estimación del centro de gravedad de un ser humano en fase de bipedestación utilizando el dispositivo Kinect bajo diferentes condiciones de iluminación artificial.
- Aplicar el protocolo desarrollado a una muestra de 5 sujetos con patrones morfológicos variados.
- Realizar un análisis estadístico de la precisión en la estimación del centro de gravedad para los diferentes escenarios de pruebas teniendo en cuenta el protocolo de experimentación.

Capítulo 2

Estado del Arte

En la medida en que un tema de investigación va ampliando su rango de aplicación y sus fuentes de referencias, los miembros de instituciones y particulares que deseen encontrar respuesta a cuestionamientos generados en algún tipo de investigación, podrán encontrar en la literatura todo tipo de documentos que validan las hipótesis planteadas sobre la estimación del CoG por medio de un dispositivo Kinect, ya sea en el sector privado o público, que conllevan al surgimiento de nuevas teorías, aplicaciones, metodologías o incluso interrogantes al servicio del desarrollo de temas específicos en cualquier campo investigativo.

La literatura sobre la estimación del CoG, muestra el desarrollo que se ha logrado en la actualidad [20, 21, 22], desde un inicio ha trascendido de ser un sistema tedioso y complejo que realiza estimaciones de forma directa, a convertirse en simples aplicaciones por computador cuyas estimaciones son de forma indirecta, algo posible gracias a la tecnología [1, 23]. Las estimaciones realizadas de forma indirecta son rápidas y fáciles de manejar, debido a que se hace uso de algunos medios con la capacidad de capturar información automáticamente y en tiempo real; no obstante, se debe tener en cuenta que estos medios pueden presentar ciertos inconvenientes, dependiendo de las condiciones para las que fueron desarrollados [24, 25], lo que ha generado que las investigaciones para mejorar dichos sistemas aún se mantenga presentes [9, 14, 26].

Algunos métodos que estiman con precisión el CoG hacen uso de: la plataforma rectangular de momentos de Reynolds y Lovetten, la plataforma equilátera de Basler, así como también la segmentación del cuerpo¹ [1]. Según la literatura, el método más usado en las estimaciones de forma indirecta es el de segmentación del cuerpo [1, 8, 10, 27, 28], el cual tiene como característica fraccionar las extremidades, tronco y cabeza en varios segmentos unidos entre sí por sus articulaciones (Figura.2.1). Cada segmento

¹En el capítulo 3 que corresponde al marco teórico, se presenta información acerca de estos métodos de estimación del CoG.

se considera como una masa independiente sobre la cual se determina su CoG, para lograrlo se hace uso de parámetros inerciales² los cuales indican el porcentaje de masa que debe tener cada una respecto al valor total del cuerpo, además indican la distancia a la que debe ubicarse cada CoG segmentario respecto a su articulaciones [8]. Conociendo la posición espacial (X, Y, Z) de los CoG's de cada segmento, se puede establecer con precisión cuales son las coordenadas segmentarias; acto seguido, se realiza la suma vectorial de todos los CoG's segmentarios, para obtener la posición precisa del CoG en el cuerpo en general [1, 29].

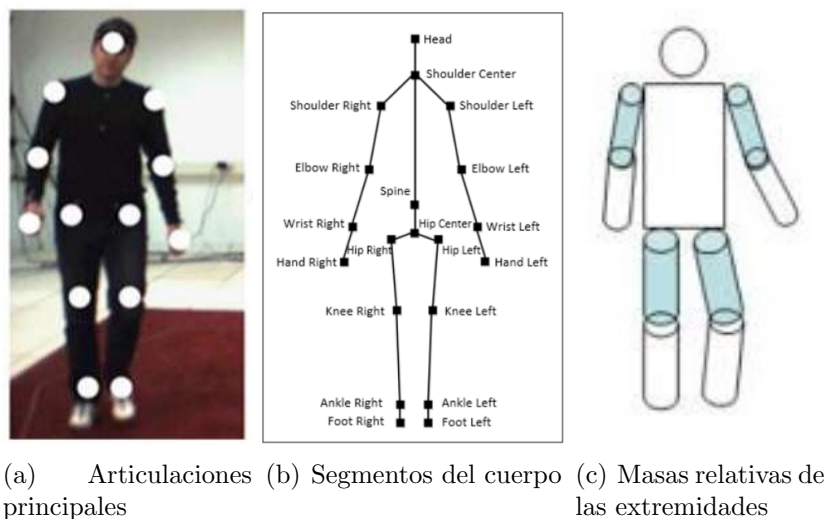


Figura 2.1: Segmentación. Fuente: García Arias, Jair A (2015).

Otra forma que lleva a determinar el CoG con el método de segmentación es el cálculo del volumen y la densidad de las partes del cuerpo de las personas, con el uso de medidas antropométricas (Ver Tabla de los parámetros inerciales 2.1) e instrumentos especiales como: la fotogrametría, la digitalización en 3D y la inmersión en agua; seguidamente se procede a multiplicar el volumen por la densidad del cuerpo que da el valor de la masa; el proceso se puede realizar con la ayuda de cámaras especiales, que cuentan con un hardware que realizan la segmentación, permitiendo obtener los parámetros inerciales imprescindibles en el análisis del movimiento corporal, llevando a la estimación de los CoGs segmentarios, parámetros que reúnen la masa de cada segmento en un punto espacial determinado, con la sumatoria de estos valores se puede calcular el CoG corporal [8]. Para lo anterior se debe tener en cuenta que los autores: Yeadon, Hanavan y Jensen consideran una distribución de materia simétrica o densidad uniforme del cuerpo [1], con el fin de obtener cálculos más acertados [20].

²Estudio del peso y la posición del centro de gravedad de cada uno de los segmentos corporales, pueden ser considerados la aceleración y la velocidad angular

Los parámetros inerciales que se usan para determinar el CoG fraccional son los aportados por Clauser et al. (1969)(Ver Tabla. 2.1), quien analizó una muestra amplia de personas muertas (13 cadáveres) en la que su edad media es menor (49.3) con respecto a las muestras de otros autores (Dempster (1955), Barter (1957), Chandler et al. (1975))[8].

Tabla 2.1: Parámetros inerciales aportados por Clauser et al. Fuente: Soto, V,M. y Gutiérrez, M. (1996).

Segmento	Masa (%)	CoG (%)	Pt. Proximal	Pt. Distal
Cabeza y cuello	7,3	46,4	vertex	gonion medio
Tronco	50,7	38,03	h. supraesternal	cadera media
Brazo	2,6	51,3	acromion	radiale
Antebrazo	1,6	38,96	radiale	art. muñeca
Mano	0,7	82	art. muñeca	estiloides 3
Muslo	10,3	37,19	art. cadera	dedo
Pantorrilla	4,3	37,05	tibiale	tibiale
Pie	1,5	44,9	talon	art. tobillo dedo 1

Otros métodos para la estimación del CoG han surgido gracias a los avances tecnológicos presentados en las últimas décadas, puesto que se han construido diferentes sistemas o dispositivos que han sido utilizados en la estimación del CoG entre los que se encuentran: placas de fuerza, plataformas de peso y dispositivos de cámaras de alta resolución [4, 10], los cuales proporcionan gran exactitud en la ubicación espacial del CoG a un costo monetario considerable; es por esto que se ha adaptado el dispositivo Kinect, el cual ha tenido gran acogida en la búsqueda de una herramienta que proporcione una estimación del CoG con márgenes de errores mínimos y principalmente a un bajo costo.

La información aportada acerca de los parámetros inerciales ha dado pie para que los dispositivos Kinect puedan hacer uso de dicha información y facilitar los estudios sobre las personas. El Kinect ofrece la posibilidad de ser configurado para mostrar una segmentación de una forma indirecta sobre personas mediante un computador, junto con la información de los parámetros inerciales se puede realizar una estimación precisa del CoG, obteniendo buena acogida en los estudios del tema [1, 26, 30].

Los Kinect cuentan con la presencia de sensores y dos cámaras que capturan información: una de ellas llamada RGB o de color captura la imagen de los cuerpos (al igual que una cámara de video digital) y la otra denotada como “IR”³ o llamada “de profundidad” indica la distancia y la ubicación espacial del objeto [1, 30]. El sensor que dispone el dispositivo es un emisor de luz infrarroja [19], envía la señal hacia el

³Cámara de Infrarrojos

objetivo en donde se refleja y es capturada por la cámara IR, lo que indica que presenta sensibilidad a la luz ambiente [15, 16, 31, 32, 33]

Inicialmente el dispositivo Kinect surgió como controlador para los videojuegos [1, 13, 34], pero en la actualidad tiene gran acogida para otro tipo de usos; desde arquitectos, diseñadores y hasta médicos cirujanos han aprovechado su potencialidad [1]. Dentro de las áreas que abarca los trabajos con el Kinect se encuentra el área de la salud, los beneficios que le puede ofrecer son varios, pero se destaca sobre todo la estimación en tiempo real del CoG ya que actualiza la información 30 veces por segundo [19], una acción que conduce a médicos a la práctica de tratamientos en pacientes con problemas de equilibrio, con el fin de mejorar su calidad de vida [13, 19, 35, 36] y además para los atletas o deportistas con alto riesgo de caídas [34].

El desarrollo del dispositivo Kinect, también ha obtenido técnicas de relación interactiva entre sistema-usuario [35], como por ejemplo, la calibración (se produce cuando la imagen del participante está fuera del rango de visión del Kinect, notificando inmediatamente que debe moverse hasta encontrar una posición de visión adecuada) y otras técnicas que han permitido dar facilidades al interactuar con diferentes usuarios [10, 30, 37]. Toda la información capturada en cuanto a imagen y video se muestra en impresiones bidimensionales por computador⁴ [1, 38], además se obtienen datos de la ubicación espacial en tres dimensiones (X, Y, Z) de los usuarios, siendo útiles para obtener Figuras con dimensiones predefinidas [1, 39, 40].

Algunas investigaciones indican que la luz natural afecta la captura de información del Kinect [29], proporcionando ruido en la captura de imagen y profundidad [9, 29, 31]. El problema surge debido a que este tipo de luz presenta las siguientes características:

- **Posee todas las frecuencias del espectro:** lo que significa que está presente la frecuencia infrarroja y de alguna forma se mezcla con la luz del mismo tipo emitida por el dispositivo, introduciéndole ruido.
- **La intensidad del brillo no se mantiene constante:** debido al cambio de posición del sol durante el día, esto traería consecuencias para la captura de imagen, ya que en horas del mediodía las capturas serán más claras que en horario de la tarde o noche, además de la generación de sombras [41].
- **Varía dependiendo del clima (lluvioso, soleado o nublado):** lo que conlleva a la variación de la intensidad por la obstrucción de los rayos contra las nubes.

Sin embargo, algunos informes muestran estrategias para lograr reducir los efectos de la luz natural sobre el Kinect, la más común trata acerca de montar escenarios en los cuales exista presencia de baja o ninguna intensidad de luz natural [15, 31], en ellos

⁴Imágenes RGB de 8 bits con una resolución máxima de 640x480 pixeles

se realizan experimentaciones con fuentes de luz artificial (bombillas, lámparas), que permiten controlar la iluminación poniendo a prueba el desempeño del dispositivo bajo distintas condiciones, obteniendo resultados más cercanos a los esperados [42].

Los escenarios que han usado en algunos estudios permiten controlar la iluminación y permiten realizar variaciones de sus condiciones [21, 31, 43, 44], tales como: cambio de posición de la fuente, variaciones de intensidad [9, 21, 31, 45, 46] y cambios de frecuencia [25]; estudios previos indican la importancia de realizar un control técnico de estas [9, 25, 33], además en uno de los trabajos realizados por M. Hayat et al, se consideran las peores condiciones lumínicas (sombras, baja intensidad; condiciones que afectan en mayor parte a la cámara RGB) para proponer un método de reconocimiento facial que ayude a obtener una imagen clara y legible pese a las condiciones adversas [17]. A parte de la iluminación, se debe destacar que hay otros parámetros que también afectan la captura de datos del Kinect, entre ellos están: la distancia al usuario [9], sombras, interferencias, ropa holgada y objetos cercanos [23, 47].

El problema que presentan los Kinect sometidos a la luz natural no son nada comparados con las ventajas que ofrece sobre la captura de datos, los estudios muestran algunas de esas ventajas como lo son: el ahorro de tiempo, el bajo número de recursos ya sea materiales, humanos o monetarios y la precisión en los resultados [1, 26, 30, 47].

2.1. Proceso de construcción del estado del arte

Con el fin de poder investigar de forma adecuada las evidencias empíricas y metodológicas utilizadas en la literatura para resolver hipótesis de investigaciones previas, se procedió a definir la pregunta de investigación: ¿Cuál es el efecto de las características de la iluminación (intensidad, frecuencia y ubicación espacial de la(s) fuentes) en la precisión de la estimación del CoG cuando este se estima utilizando un dispositivo Kinect?, la cual centró y enfocó la búsqueda de documentos hacia las temáticas de variación de luz artificial, estimación del CoG mediante el dispositivo Kinect y efectos de la luz artificial sobre el mismo dispositivo. Tomando como referencia la pregunta de investigación, se define el método a seguir para construir un esquema de clasificación el cual está de acuerdo al enfoque de este documento [48], para esto se generaron las siguientes preguntas orientadoras.

- **¿Que documentos contribuyen con información para el proceso de estimación del CoG, usando métodos manuales, ópticos u otro tipo de mecanismos?**

Con esta pregunta se pretende conocer la evolución de los métodos de estimación del CoG y saber cuáles son los más empleados o los más convenientes para usar en personas.

- **¿Cuáles estudios aportan información concerniente a la determinación del CoG en personas, realizando el proceso con un dispositivo óptico Kinect?**

Con la pregunta se espera obtener conocimiento del manejo del dispositivo Kinect, las herramientas, los métodos y procesos que se emplean para conducir hasta la obtención de un CoG en diferentes personas y la precisión que entrega frente a otros sistemas.

- **¿Que documentos permiten conocer la importancia de los dispositivos Kinect, para la captura de imagen y profundidad en personas?**

Con la anterior pregunta se espera dar respuesta a las ventajas que ofrece la investigación si se dispone de un dispositivo Kinect en las diferentes áreas a las cuales se aplica, en especial al área de salud.

- **¿Que documentos indican los efectos de la incidencia de luz sobre los dispositivos Kinect en la captura de información?**

Con lo anterior se desea saber en qué medida los cambios de las condiciones de luz altera la entrega de resultados de los dispositivos Kinect, las razones de dichas alteraciones y las conclusiones a las que apuntan a tener un mejor desempeño del dispositivo bajo ciertas condiciones.

2.1.1. Análisis de documentos

La Tabla 2.2 describe la información de referencia acerca de los estudios relevantes.

Tabla 2.2: Artículos Seleccionados.

	Autores	Año	Título del artículo	Revistas o Tesis
1	García Arias, Jair A and Padilla Bejarano, José Bestier and Arango Posada, Eduardo and López García, Jorge Alberto and Arango, Laura	2015	Sistema para determinar el centro de gravedad de un deportista practicante de tejo [1]	Tesis

2	González, Alejandro and Hayashibe, Mitsuhiro and Bonnet, Vincent and Fraisse, Philippe	2014	Whole Body Center of Mass Estimation with Portable Sensors: Using the Statically Equivalent Serial Chain and a Kinect [30]	Sensors
3	Almandeel, Ali and Myszka, David H and Gonzalez, Alejandro and Fraisse, Philippe	2015	Rapidly locating and accurately tracking the center of mass using statically equivalent serial chains [26]	Tesis
4	Alejandro González, Mitsuhiro Hayashibe, Philippe Fraisse	2012	Estimation of the Center of Mass with Kinect and Wii balance board [47]	Inproceedings: 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems
5	Gill, Tyler and Keller, James M and Anderson, Derek T and Luke, RH	2011	A system for change detection and human recognition in voxel space using the Microsoft Kinect sensor [31]	Inproceedings: Booktitle; 2011 IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR)
6	Hayat, Munawar and Bennamoun, Mohamed and El-Sallam, Amar A	2016	An RGB-D based image set classification for robust face recognition from Kinect data [17]	Neurocomputing
7	Chuya Sumba, Jorge Patricio and Cuenca Soto, María del Cisne and Delgado Guaraca, Kleyner Manuel	2013	Diseño e implementación de un sistema para el análisis del movimiento humano usando sensores Kinect [29]	Tesis
8	Kepski, Michal and Kwolek, Bogdan	2012	Fall detection on embedded platform using kinect and wireless accelerometer [19]	Computer methods and programs in biomedicine
9	Kwolek, Bogdan and Kepski, Michal	2014	Human fall detection on embedded platform using depth maps and wireless accelerometer [15]	Computer methods and programs in biomedicine

10	Quintana Rosales, Matías Alberto	2014	Registro de una secuencia temporal de nubes de puntos utilizando tecnología Kinect para la reconstrucción tridimensional de material arqueológico [9]	Tesis
11	Simone Milani, Giancarlo Calvagno	2012	Joint denoising and interpolation of depth maps for MS Kinect sensors [44]	Inproceedings: Booktitle; 2012 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)
12	Ojosnegros Ramos, Eduardo and others	2014	Desarrollo de un sistema para la militarización de operaciones manuales mediante sensor Kinect [45]	Tesis
13	Zennaro, Simone	2014	Evaluation of Microsoft Kinect 360 and Microsoft Kinect One for robotics and computer vision applications [21]	Tesis
14	OIZ ELGORRIAGA, IKER	2014	Mapping. Luz, sonido, espacio y percepción [25]	Tesis
15	Priego Pérez, Fausto Pável	2016	Reconocimiento de imágenes del lenguaje de señas mexicano [33]	Tesis
16	Knudson Duane	2007	Fundamentals of biomechanics [49]	Libro
17	Boughen	2013	A new method of interpreting the centre of gravity location using the modified Clinical Test of Sensory Interaction on Balance: A reliability study [4]	Hong Kong Physiotherapy Journal

18	Samer S. Hasan, Deborah W. Robin	1996	Simultaneous measurement of body center of pressure and center of gravity during upright stance. Part I: Methods [50]	Gait & posture
19	D. Lafond, M. Duarte, F. Prince	2004	Comparison of three methods to estimate the center of mass during balance assessment [51]	Journal of biomechanics
20	Erdmann, S. Włodzimirz, Radosław Kowalczyk	2015	A personalized method for estimating centre of mass location of the whole body based on differentiation of tissues of a multi-divided trunk [20]	Journal of biomechanics
21	Feng Yang, Yi-Chung Pai	2014	Can sacral marker approximate center of mass during gait and slip-fall recovery among community-dwelling older adults? [52]	Journal of biomechanics
22	Alberto Ranavolo, Romildo Don, Angelo Cacchio, Mariano Serrao, Marco Paoloni, Massimiliano Mangone, Valter Santilli	2008	Comparison between kinematic and kinetic methods for computing the vertical displacement of the center of mass during human hopping at different frequencies [53]	Journal of applied biomechanics
23	M. Saini, DC. Kerri-gan, MA. Thirunara-yan, M. Duff-Raffaele	1998	The vertical displacement of the center of mass during walking: a comparison of four measurement methods [54]	Journal of biomechanical engineering
24	Bonnet	2015	Determination of subject specific whole-body centre of mass using the 3D Statically Equivalent Serial Chain [27]	Gait & posture

25	Steven A. Gard, Steve C. Miff, Arthur D. Kuo	2004	Comparison of kinematic and kinetic methods for computing the vertical motion of the body center of mass during walking [22]	Human movement science
26	Alejandro González, Mitsuhiro Hayashibe, Philippe Fraisse	2013	Subject-Specific Center of Mass Estimation for In-Home Rehabilitation–Kinect-Wii Board vs. Vicon-Force Plate [55]	Converging Clinical and Engineering Research on Neuro-rehabilitation
27	Arin Dutta, Adrish Banerjee	2013	Low-cost visual postural feedback with Wii Balance Board and Microsoft Kinect-a feasibility study [28]	Browse Conference Publications. Point-of-Care Healthcare Tech
28	Zhihan Lv	2015	Preprint: Comparing Kinect2 based Balance Measurement Software to Wii Balance Board [56]	arXiv preprint arXiv:1509.06783
29	Stepan Obdrzalek	2012	Accuracy and robustness of Kinect pose estimation in the context of coaching of elderly population [57]	Conference of the IEEE EMBS, San Diego, California USA
30	Michal Kepski, Bogdan Kwolek, Ivar Austvoll	2012	Fuzzy inference-based reliable fall detection using Kinect and accelerometer [58]	Artificial Intelligence and Soft Computing
31	Loren Arthur Schwarz	2012	Human skeleton tracking from depth data using geodesic distances and optical flow [12]	Image and Vision Computing
32	Adriana Gonzalez, Mitsuhiro Hayashibe, Philippe Fraisse	2012	Three dimensional visualization of the Statically Equivalent Serial Chain from Kinect recording [37]	DEMAR Project, INRIA, LIRMM, CNRS/University of Montpellier.

33	LF Yeung	2014	Evaluation of the Microsoft Kinect as a clinical assessment tool of body sway [10]	Gait & posture
34	Saiyi Li	2014	Multi-kinect skeleton fusion for physical rehabilitation monitoring [40]	Engineering in Medicine and Biology Society
35	Bo Jiang	2014	Observation-oriented silhouette-aware fast full body tracking with Kinect [38]	Journal of Manufacturing Systems
36	Ross A. Clark	2012	Validity of the Microsoft Kinect for assessment of postural control [39]	Gait & posture
37	Qing Zhang	2012	Edge-preserving photometric stereo via depth fusion [43]	Browse Conference Publications. Computer Vision and Pattern R.
38	Cristian Patricio Valencia Andrade	2013	Desarrollo e implementación de un software en labview con mando inalámbrico para la educación de niños que permite la interacción de dos participantes mediante el reconocimiento de color y lectura de movimientos para el desarrollo de juegos didácticos [46]	Tesis
39	Matteo Munaro, Filippo Basso, Emanuele Menegatti	2016	OpenPTrack: Open source multi-camera calibration and people tracking for RGB-D camera networks [16]	Robotics and Autonomous Systems
40	E. Lachat	2015	First experiences with kinect v2 sensor for close range 3d modelling [24]	The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences

41	Hamed Sarbolandi	2015	Kinect Range Sensing: Structured-Light versus Time-of-Flight Kinect [42]	Computer Vision and Image Understanding
----	------------------	------	--	---

2.1.2. Análisis comparativo y discusión

Con el propósito principal de darle respuesta a las preguntas establecidas en la sección 2.1 y ver el enfoque que los autores dan en cada documento de la Tabla 2.2, se hace el análisis comparativo y la discusión de los estudios seleccionados.

Para respuesta a la primera pregunta, es importante mencionar que los métodos de estimación del CoG vienen desde años atrás y en la literatura se encuentra variedad de documentos. Se escogieron los documentos que aportan información importante para el presente trabajo de grado y se destacan los siguientes los cuales muestran:

En el primero se analiza la trayectoria del CoG en usuarios practicantes de tejo en ambientes abiertos, para obtener un movimiento limpio que permita el uso de menos inversión energética y menos desgaste físico, el documento aporta información en cuanto al método usado para estimar el CoG en personas usando la segmentación del cuerpo [1]; en el segundo se usa un método que permite la estimación y el seguimiento del CoM para ambientes normales de una casa familiar, el método fue validado con siete voluntarios sin discapacidad, utilizando 40 posturas estáticas y cuyas estimaciones fueron comparables a las obtenidas en la literatura [30]; el tercero [26] y el cuarto [47] se basan en el método anterior con la ayuda de sensores AMTI-OR6 VICON⁵ y bandas de peso WBB⁶ respectivamente, el Kinect se utiliza para el seguimiento y la reconstrucción del sujeto en 3D mediante las posiciones de las articulaciones para el análisis cinemático, mientras que la WBB se utiliza para la medición del centro de presión, en los trabajos se realiza la estimación del CoM con ayuda de la tabla de equilibrio Wii de Nintendo de forma rápida y precisa, tanto en ambientes abiertos como cerrados, mostrándose que esta plataforma entrega datos con mayor precisión en ambientes cerrados. Los documentos 27 al 34 también aportan información acerca de la estimación del CoG con un dispositivo Kinect.

Se puede ver que en la actualidad los sistemas ópticos traen ventajas como la rapidez y la precisión en la estimación del CoG, los dispositivos Kinect a comparación de otras técnicas son preferidos por su bajo costo y la calidad de resultados [14]. Gracias a los

⁵Cámaras térmicas que trabajan con luz infrarroja

⁶Especie de báscula para la consola Wii que posee 4 sensores de presión en cada esquina, la cual capta instantáneamente movimientos para llevarlos a la pantalla de un computador [26]. Fuente: <https://www.nintendo.com/consumer/downloads/wiiBalanceBoard.pdf>

aportes encontrados en estas investigaciones se da también respuesta a la pregunta dos de la sección 2.1.

Los trabajos 17 a 26 muestran otras formas de estimación del CoG, no necesariamente con los dispositivos Kinect, pero dieron origen las formas evolucionadas que se encuentran el día de hoy.

Para resolver la incógnita de la tercera pregunta de la sección 2.1, se utilizaron siete de las diez investigaciones de la Tabla 2.2, donde se tuvieron en cuenta aquellas que aportaban información acerca de los efectos que trae la iluminación en la captura de datos del sensor Kinect, ya que se relacionan con la investigación del presente proyecto de grado, los documentos destacados son los siguientes los cuales describen:

En el quinto se presenta un método de cámara de visión artificial para vigilar el bienestar de los ancianos en los ambientes interiores, los resultados muestran una mejor captura de datos en ambientes con poca iluminación gracias a la cámara de infrarrojos del sensor Kinect, pero no en ambientes totalmente oscuros dado a que la cámara de color del sensor no percibiría la imagen [31]; en el sexto se realiza un trabajo para reconocimiento facial de personas en ambientes interiores, el método permite obtener una imagen legible sobre el rostro con una serie de imágenes expuestas a cambios de gestos y otros factores, entre ellos la iluminación, la cual juega un papel con los cambios de las condiciones de la fuente de luz y muestra que la cámara infrarroja es menos afectada ante los cambios de intensidad a diferencia de la de color [17].

En el séptimo se hace una comparación de resultados obtenidos en ambientes con luz natural y artificial. En los ambientes naturales se trabajó en horarios fijos (mañana, mediodía, tarde y noche), en diferentes días pero con igual clima (nublado, lluvioso y soleado) con el fin de igualar las condiciones, a diferencia de los ambientes cerrados donde se controla la iluminación, los resultados muestran que el Kinect tiene mejor comportamiento en ambientes artificiales [29]; en el octavo y noveno se toman los datos a diferentes horas de día y noche, los trabajos están enfocados a detectar las caídas de las personas por medio de la estimación del CoG y se muestra la alteración que sufre la cámara de infrarrojo bajo la luz solar [15, 19].

En el décimo se consideraron 3 condiciones de luz, aunque la investigación es para aplicaciones en arqueología, se concluye que el Kinect es apto para trabajar en un rango de 0.85 a 1.35 metros de distancia en condiciones de luz media, es decir con poca presencia de luz solar y ligera presencia de luz artificial (intensidad de luz entre 60 lux y 100 lux) [9]; por último, en el documento once se presenta una estrategia para mejorar la captura de datos de la cámara IR⁷ de los dispositivos Kinect, el método se usa en escenarios abiertos y cerrados, los resultados muestran que la cámara IR se afecta en mayor grado en ambientes abiertos, dado que las frecuencias del espectro solar cercanas

⁷Cámara de infrarrojo o de profundidad

a la luz infrarroja producen mayor ruido [44].

Los documentos 35 al 40 también aportan información para la captura de datos de personas con el dispositivo Kinect, sus articulaciones, su esqueleto, en donde el principal protagonista es el componente infrarrojo.

Las investigaciones quinta hasta la once de la Tabla 2.2 permiten también responder la cuarta pregunta de la sección 2.1, ya que la toma de datos con los dispositivos Kinect mejoran al trabajar en ambientes cerrados, debido a que las condiciones de iluminación juegan un papel importante para el sistema, donde se afectan tanto la cámara RGB y la cámara de profundidad. Otros documentos como los del 41 al 46 complementan con la información acerca de los problemas a los que se expone el dispositivo Kinect bajo ciertas condiciones de iluminación.

Finalmente, el proceso de revisión presentado en este capítulo, permite concluir que no hay evidencias suficientes que puedan dar respuesta a la pregunta de investigación propuesta al principio de esta sección (2.1), viéndose la necesidad de desarrollar el proyecto de grado que permitirá proponer una solución concreta y viable al interrogante mencionado.

Capítulo 3

Marco Teórico

3.1. Luz

La luz se considera como un fenómeno que presenta características de una onda electromagnética (significa que viaja a una velocidad constante de aproximadamente 300000 km/s en el vacío), presenta atributos como; amplitud (valor máximo de desplazamiento de la onda), longitud de onda (determina el comportamiento espacial) y frecuencia (permite observar su comportamiento temporal). Su viaje en línea recta tienen contacto con la materia, proporcionando características intrínsecas a cada elemento iluminado, los cuales la pueden absorber o reflejar¹[25, 59, 60].

3.1.1. Percepción de luz

Para hablar de percepción de luz deben existir 3 componentes básicos [61]:

- Una fuente de luz: genera la señal lumínica.
- Un objeto iluminado: material donde la luz se absorbe o se refleja.
- Un receptor: recibe la luz reflejada.

3.1.2. Espectro electromagnético y espectro visible

- **Espectro electromagnético:** Es el ordenamiento de la energía radiante según la longitud de onda o la frecuencia. Se extiende desde longitudes de onda de 10^{-16}

¹La luz que es absorbida por la materia se le llama incidente y la que no es absorbida se le denomina reflejada

hasta 10^5 metros; en el extremo de las frecuencias más altas (onda corta) de mayor energía están los rayos cósmicos (emitidos durante reacciones nucleares); en el otro extremo se encuentran las frecuencias bajas (ondas largas), utilizadas para comunicaciones de radio, que van de unos milímetros a kilómetros de longitud de onda. Entre estos extremos están los rayos X, los UV (ultravioleta), los visibles y los IR (infrarrojos). Los últimos tres son los de mayor importancia en el campo de la iluminación (Figura.3.1) [59].

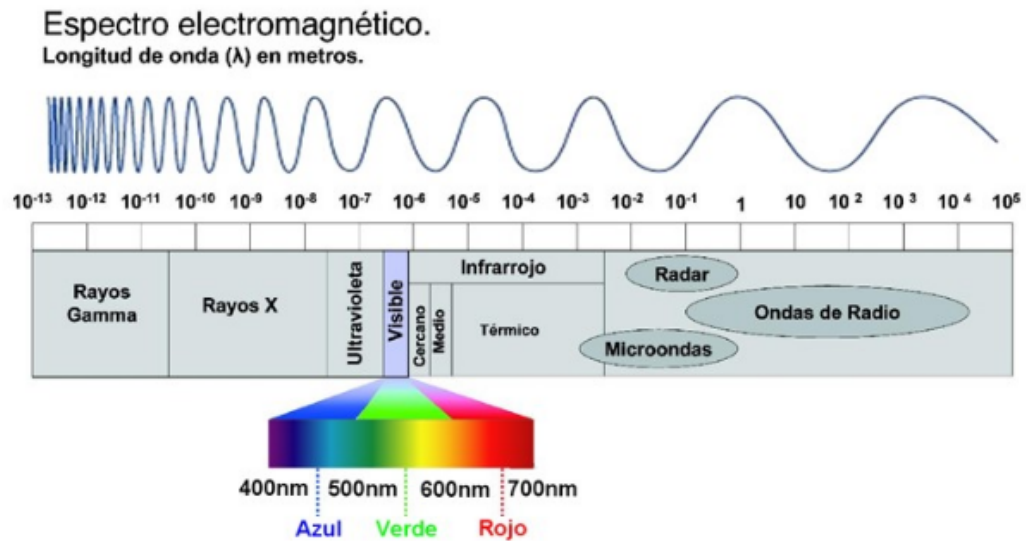


Figura 3.1: Composición del espectro electromagnético. Fuente: Sirlin, Eli (2006).

- **El espectro visible:** es la porción del espectro electromagnético percibida por el ojo humano y comprende las emisiones radiantes de longitud de onda desde los 380 nm hasta los 780 nm (puede variar según la bibliografía utilizada). La luz blanca percibida es una mezcla de todas las longitudes de onda visibles. El espectro visible se puede descomponer en sus diferentes longitudes de onda mediante un prisma de cuarzo, que refracta las distintas longitudes de onda selectivamente² [59].

El ojo humano puede diferenciar entre las distintas longitudes y frecuencias presentes en este rango por la sensación de color, los azules y violetas corresponden a longitudes de onda cortas, el rojo y el naranja corresponden a longitud de ondas largas y en el medio encontramos el verde y el amarillo. Una radiación luminosa monocromática correspondería en teoría a una sola longitud de onda, lo que no se

²En el espectro de ondas electromagnéticas (Figura.3.1) se puede ver la ínfima porción que corresponde al espectro visible al ojo humano.

da empíricamente, las fuentes de luz que más se asemejan a este tipo de emisión, son el láser y la lámpara de sodio baja presión, debido a que cubren una banda mínima del espectro visible [59].

Los rayos ultravioletas (UV) y los infrarrojos (IRC) no son detectados visualmente, pero pueden serlo fisiológicamente. Puede considerarse que la radiación ultravioleta va desde los 350 nm hasta los 10 nm. Los rayos infrarrojos, que incluyen la energía calorífica radiante, abarcan las longitudes de onda situadas aproximadamente entre 750 nm y 1 mm [59].

La radiación solar que llega a la tierra cubre un espectro de ondas electromagnéticas con longitudes de onda que van desde los 290nm a los 1700nm. Radiaciones electromagnéticas de menor longitud de onda son absorbidas por la capa de ozono y las mayores son modificadas y absorbidas por el dióxido de carbono y el vapor de agua [59].

3.1.3. Intensidad de luz:

Cantidad de luz que percibe el elemento iluminado proveniente de una fuente luminosa, puede ser manipulada con el uso de colores, atenuando la potencia o haciendo uso de filtros de luz. La percepción del elemento iluminado va depender considerablemente del contraste de la fuente lumínica con el entorno³ [61].

Algunos componentes que influyen en la percepción de la intensidad de luz son: (i) **Visibilidad y agudeza visual:** entre mayor sea la distancia disminuirá la intensidad lumínica, es decir, si a mayor distancia se encuentre el objeto de la fuente será necesario mayor intensidad. (ii) **Adaptación del ojo:** tiene una relación directa con los niveles de luz, el comienzo y el final del proceso; si los niveles de luz son muy bajos la adaptación a la oscuridad puede tardar alrededor de una hora, pero en el caso de que la intensidad de luz sea mayor a ($3cd/m^2$) la adaptación tardara tan solo unos minutos. (iii) **Impresión subjetiva de brillo:** el luxómetro digital es un instrumento usado para medir la intensidad lumínica, indica el nivel de luminancia sobre una superficie. Hay que tener en cuenta que una fuente de luz iluminando una superficie blanca brinda una percepción diferente que en un espacio negro, las texturas y el color son elementos que de igual manera modifican la percepción de la intensidad luminosa provocada por la fuente. (iv) **Sensaciones asociadas al brillo:** el contraste es el encargado de asociar los factores anímicos de una toma de imágenes o video; una luz que tenga una intensidad baja o de poco contraste daría la percepción de un ambiente aburrido, en cambio, cuando la intensidad de luz es alta hace que el observador esté atento a lo que sucede. Por lo general es muy utilizada para iluminaciones de comedias, teniendo cuidado de no

³Para complementar la información acerca de la intensidad de luz se recurre a la página: <http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/iluminacion/APUNTES.pdf>

fatigar la visión. (v) **Umbrales perceptivos (fatiga visual-falta de contraste):** el ojo del perceptor, se puede cansar si permanece mucho tiempo a la exposición de una alta o baja intensidad de luz, este puede lograr una adaptación si el cambio de intensidad es gradual [61, 62].

Las unidades de medida de la intensidad de luz o luminancia se llaman “lux”, entre mayor sea el brillo de la fuente mayor serán las unidades de lux. El luxómetro es el instrumento más conocido para medir estas magnitudes de forma rápida y fácil en un ambiente (3.2), contiene una célula fotoeléctrica que capta la luz y la convierte en impulsos eléctricos, los cuales son interpretados y representada en un display o aguja con la correspondiente escala de luxes.



Figura 3.2: Luxómetro Digital

3.1.4. Frecuencia

La frecuencia de luz es el número de ondas que pasan por un punto en el espacio durante un intervalo de tiempo, normalmente un segundo. Las ondas de luz visible son una combinación de luces de colores que poseen determinada frecuencia o longitud de onda cada una; es decir la luz amarilla, roja, azul, verde, etc.; todas tienen un rango de frecuencias diferentes. La luz solar contiene todas las frecuencias y es posible separarlas haciendo uso de filtros, igualmente para algunas fuentes de luz artificiales..

3.1.5. Luz natural y luz artificial

- **Luz natural:** Proviene de una fuente luminosa formada naturalmente muy eficiente que cubre todo el espectro visible [63]. El sol el principal emisor de este

tipo de luz sobre la superficie de la tierra.

En un día con clima perfecto y en horas del mediodía, las tres cuartas partes de la energía que llega del exterior alcanza la superficie de la tierra con los siguientes porcentajes: radiación infrarroja 49, luz visible 42 y radiación ultravioleta 9. En un día nublado se absorbe un porcentaje mucho mayor de energía, especialmente en la zona del infrarrojo⁴.

- **Luz artificial:** Emitida por fuentes lumínicas creadas por el hombre, no tiene un espectro de colores tan amplio ni la longitud de onda de la luz natural, ya que cubren espectros que están contenidos dentro del de la radiación solar, lo que significa que solo usan una pequeña parte dentro del espectro visible [59]. La ventaja de este tipo de luz radica en que se puede controlar a voluntad y además de monitorear la intensidad, la cantidad y la calidad de la luz para ajustarla a cada situación [63].

3.1.6. Fuentes de luz artificial

Un buen color de luz y una adecuada reproducción del color son dos puntos importantes a la hora de iluminar un entorno.

Existen dos tipos básicos de fuentes de luz que encierran a un gran grupo de fuentes creadas por el hombre de acuerdo a la necesidad o al uso que se quiera realizar con ellas. Las fuentes de: incandescencia y luminiscencia⁵.

Fuentes Incandescentes:

- **Fuentes Halógenas:** este tipo de fuentes se caracterizan por emitir una luz 30 por ciento más blanca y brillante, empleando menos potencia en watts en comparación de los focos incandescentes.
- **Focos Incandescentes (Bombillas):** Un foco enciende debido a que dentro del él, diversas corrientes eléctricas corren por un alambre delgado y lo calientan a altas temperaturas, por lo tanto ocasiona que este alambre brille (Figura.3.3). Se puede decir que entre más alta esté la temperatura, la luz será más blanca y brillante. La producción de luz mediante la incandescencia tiene una característica

⁴La información acerca de la luz natural fue tomada de las páginas: Lámpara incandescente, EcuRed. y <http://vizzioelectric.blogspot.com.co/2008/01/colores-de-luz-en-las-lamparas.html>.

⁵Incandescencia: emisión de luz obtenida a partir de la energía del calor. Luminiscencia: acción de los electrones que liberan energía, empujados como caso más común por la corriente eléctrica

adicional y es que la luz emitida por lo general contiene todas las longitudes de onda que forman la luz visible, al igual que la luz solar ⁶.

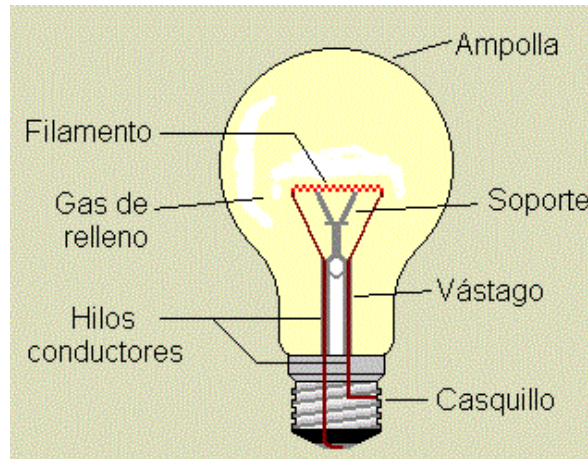


Figura 3.3: La bombilla es el tipo de fuente incandescente más común. Aquí se presentan las partes que normalmente la conforman. Fuente: Lámpara incandescente.

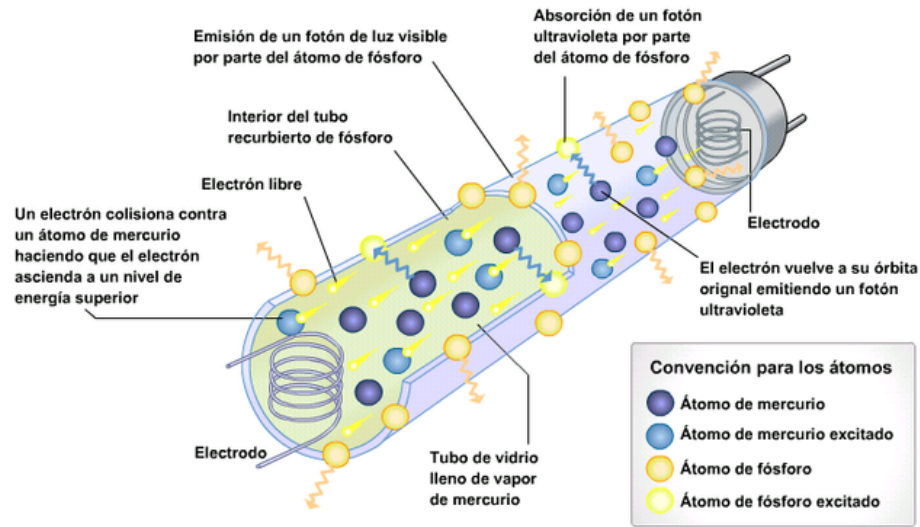
Fuentes Luminiscentes:

- **Luces Fluorescentes:** Emitidas por fuentes de luz frías (a diferencia de las fuentes incandescentes). Proporcionan un color similar al de las lámparas incandescentes. No genera todas las frecuencias de luz visible y pueden ser insatisfactorias para iluminación de interiores, pero han demostrado ser aceptables para uso en el hogar. Se produce por la acción de un elemento, generalmente de un gas, que al reaccionar al paso de corriente eléctrica sus electrones se excitan y hace que emita luz. Este tipo de fuentes pueden emitir luz en colores dependiendo del tipo de gas ⁷. A continuación se presenta una lista con los colores más comunes y los gases que se asocian con estos. Figura.3.4:

- * Para obtener rojo, o naranja, se utiliza neón.
- * Para obtener azul, se utiliza mercurio.
- * Para obtener verde, se utiliza vapor de mercurio.
- * Para obtener dorado, se utiliza helio en un tubo ámbar.
- * Para obtener amarillo, se utiliza sodio.

⁶Lámpara incandescente. Elementos y construcción. URL: <http://unicrom.com/lampara-incandescente-elementos-construccion/>

⁷Colores de luz en lámparas fluorescentes. URL: <http://vizzioelectric.blogspot.com.co/2008/01/colores-de-luz-en-las-lamparas.html>



(a) Partes de las fuentes fluorescentes. Fuente: Wikipedia.



(b) Emisión de luz fluorescente. Fuente: Lámparas Fluorescentes: Luz Blanca y Limpia o de Colores.

Figura 3.4: Fuentes fluorescentes.

- **Fuentes led:** a diferencia de las fuentes incandescentes, la luz que produce este tipo de fuente presenta alta eficiencia luminosa, lo cual supone un ahorro en costes de corriente eléctrica (80-100 lúmenes por vatio). Emiten un tipo de luz fría y no emite radiaciones IR o UV. La distribución espectral de una fuente led es pequeña a diferencia de los rangos de la luz visible, como por ejemplo la longitud de onda de la luz roja está más o menos en 630 nm, la verde alrededor de los 525 nm y la

azul oscila los 470 nm ⁸.

3.1.7. Posición espacial de la fuente de luz

Para ciertos observadores, la posición espacial de la fuente de luz se puede considerar un factor importante ya que tiene la capacidad de modificar el elemento iluminado, causándole cambios importantes en apariencia, además de brindarle diferentes sensaciones y emociones al observador. También, según el posicionamiento de las fuentes se pueden generar sombras, las cuales provocan efectos en el espectador como cambios en el tamaño del objeto observado y/o variación de texturas [25, 61].

Existen dos clases de sombras; las propias y las arrojadas. La sombra propia es producida por la posición del foco de luz respecto al objeto iluminado, una parte del objeto no es iluminada, generando sombras que alteran la percepción que se tiene sobre su volumen y su forma; la sombra arrojada es producida por el mismo objeto sobre su entorno debido a la posición respecto a la fuente de luz, su tamaño puede variar dependiendo del ángulo desde donde está iluminando el objeto [25]. Para estudiar el posicionamiento de una fuente de luz, se tendrá en cuenta la relación existente entre fuente de luz, objeto iluminado y perceptor. A continuación se nombran las posiciones más comunes [61, 64, 65]:

- **Iluminación cenital:** Se produce cuando la fuente de luz se ubica sobre el objeto percibido, siendo iluminado de arriba hacia abajo produciendo sombras duras y verticales; no se realiza de forma homogénea, haciendo que se observen zonas excesivamente claras (ver Figura.3.5); este tipo de iluminación no es muy utilizado en estudios debido a que es difícil de trabajarla con acierto; es utilizada en exteriores con el sol de mediodía [61, 66]

⁸La información de las fuentes led fue tomada de: Iluminación escénica.

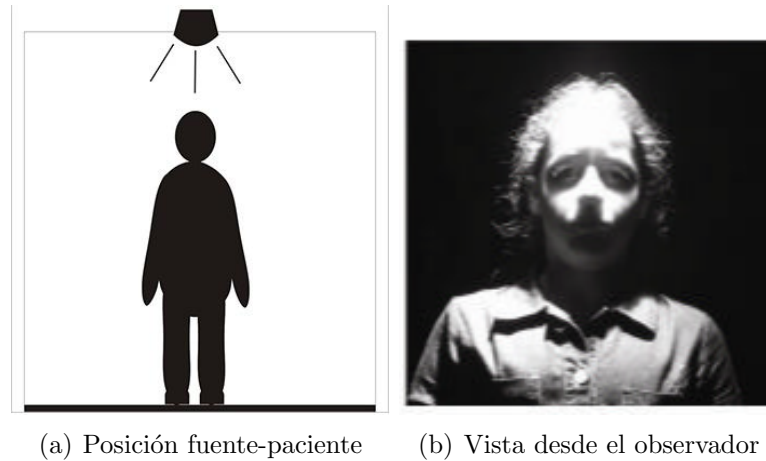


Figura 3.5: Luz cenital. Fuente: Sirlin, Eli (2006).

- Contraluz:** Se produce cuando la fuente de luz se encuentra ubicada detrás del objeto iluminado, llegando de frente al perceptor, generando una sombra entre el objeto y el observador, el objeto es visualizado como una silueta lo que entrega muy poca información del sujeto de estudio (Figura.3.6); la ubicación de la fuente puede ser alta, media o baja; esta iluminación no es adecuada para la reproducción objetiva de la realidad [61, 66].

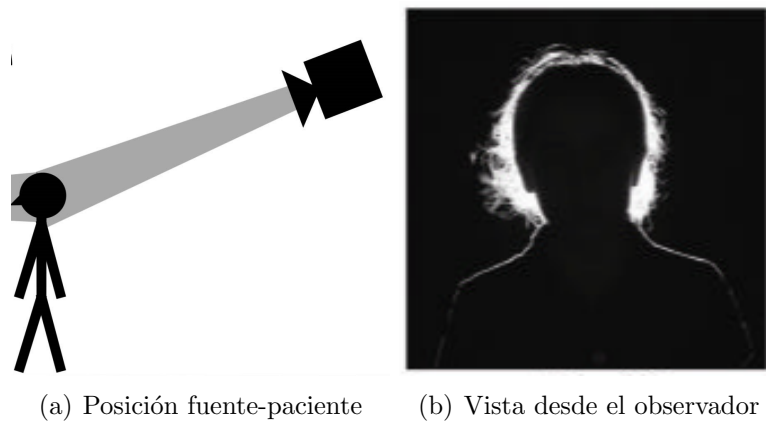


Figura 3.6: Contraluz. Fuente: Sirlin, Eli (2006).

- Iluminación lateral:** Se da cuando la fuente lumínica está ubicada a un lado del objeto iluminado (a unos 90 grados con respecto al observador), generando sombras laterales; esto ocasiona que un lado del objeto tenga una alta iluminación

y el otro quede en sombras, por lo que se acostumbra a iluminar el objeto por ambos lados (Figura.3.7). En este tipo de iluminación la fuente de luz puede ser ubicada alta, media o baja, respecto al objeto iluminado [61, 66].



(a) Posición fuente-paciente (b) Iluminación lateral derecha (c) Iluminación lateral izquierda

Figura 3.7: Iluminación lateral. Fuente: Sirlin, Eli (2006).

- **Iluminación frontal:** La fuente de luz se encuentra en la parte posterior del observador y frente al objeto iluminado, por lo general la iluminación se realiza de arriba hacia abajo proyectando la sombra del objeto hacia el fondo del espacio (Figura.3.8); esta iluminación hace que se pierda profundidad espacial y que se observe el objeto iluminado como plano, por lo que en muchos casos se complementa con luces ubicadas en otras posiciones. Es importante tener en cuenta el ángulo de incidencia para agregar o quitar sombras, utilizando ángulos que varían entre 30 y 45 grados con el eje vertical [61, 66].

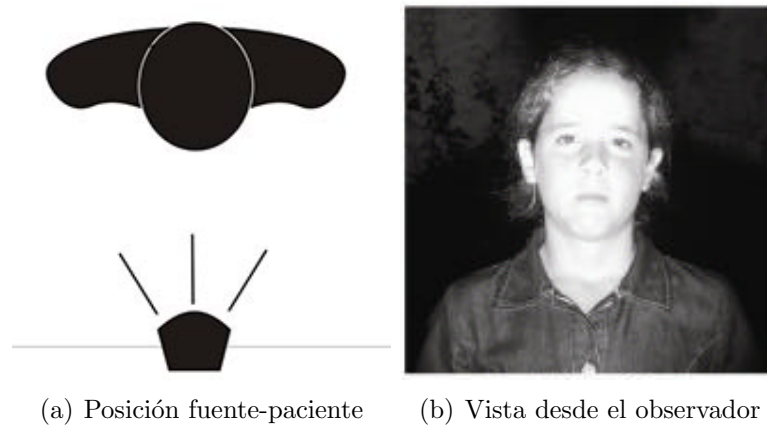


Figura 3.8: Iluminación frontal. Fuente: Sirlin, Eli (2006).

- Iluminación nadiral:** Se produce cuando la fuente de luz está ubicada entre el objeto iluminado y el observador; la iluminación se hace de abajo hacia arriba, es totalmente lo contrario de la luz cenital y produce variedad de sombras (Figura.3.9); es común encontrarla en iluminaciones de fachadas o monumentos, ya que la fuente lumínica se encuentra en una posición antinatural, que produce sensaciones irreales o siniestras del objeto [61].

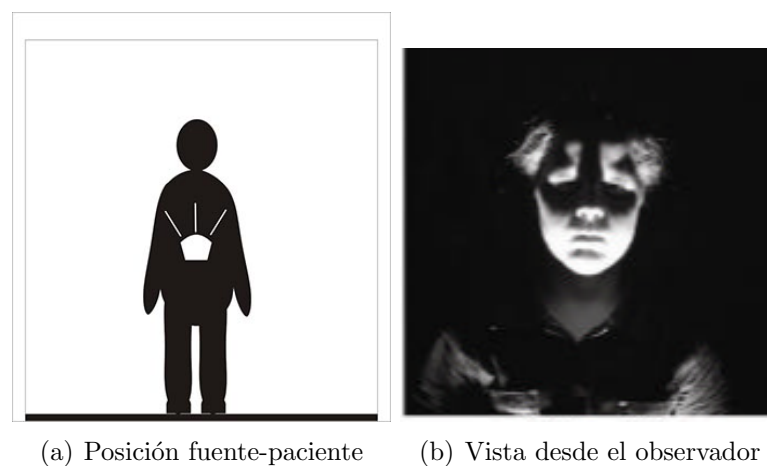


Figura 3.9: Iluminación nadiral. Fuente: Sirlin, Eli (2006).

- Iluminación diagonal:** Como su nombre lo indica la posición de la fuente de luz se ubica diagonalmente respecto al objeto iluminado. Existen 2 clases: **Diagonal**

frontal y **Diagonal a contraluz**, haciendo que el objeto se observe separado del fondo del lugar (Figura.3.10). Las fuentes de iluminación pueden ser ubicadas altas, medias o bajas [61].

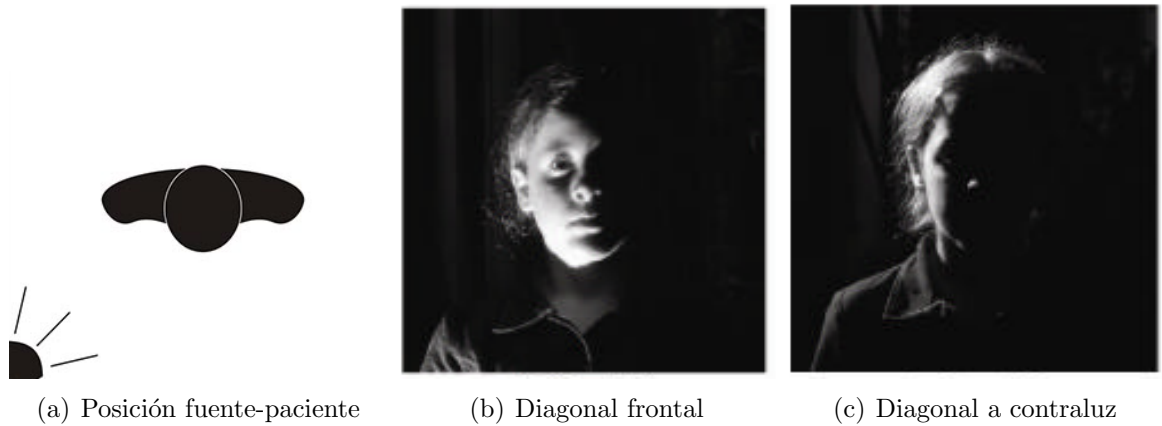


Figura 3.10: Iluminación diagonal. Fuente: Sirlin, Eli (2006).

3.2. Centro de Gravedad

A continuación se presenta la ubicación del CoG en las personas y los métodos que han llevado a considerar esta estimación.

3.2.1. Localización

Desde la posición anatómica de pie, el centro de gravedad se encuentra en la pelvis, enfrente de la porción superior del sacro (segunda vértebra sacra, S-2)[22, 52, 53, 67]. En las mujeres, se encuentra más abajo que en los hombres, debido a que las mujeres poseen una pelvis y muslos más pesados y piernas más cortas (Figura.3.11) [1]. La posición del centro de gravedad depende de varios factores, tales como la estructura anatómica individual, las posturas habituales de pie, las posiciones actuales, el hecho de sostener pesos externos, la edad y el sexo [1]. Se supone que esta ubicación corresponde a personas morfológicamente sanas, es decir, que no les falte ningún miembro físico. Algunos autores afirman que para hacer una estimación precisa del centro de gravedad en personas, es necesario hacerlo en función del tiempo y además conocer de antemano el CoG de cada uno de sus segmentos [20, 68, 69].

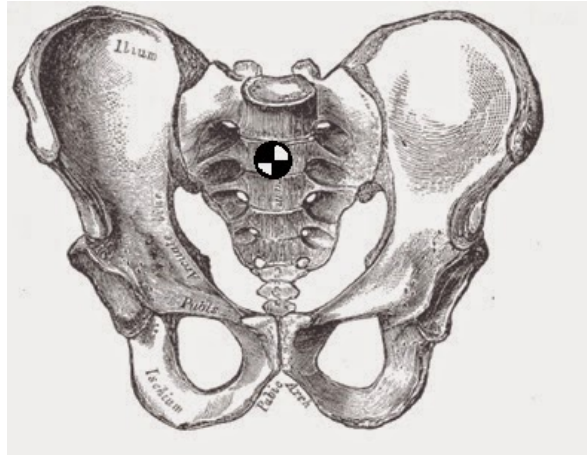


Figura 3.11: Ubicación del CoG en los humanos. Fuente: Fisioterapia, (2015). Extraído de: “Todo sobre el centro de gravedad”.

En la actualidad la estimación del centro de gravedad o CoG en personas es un tema de estudio dentro de la ciencia y la salud. El desarrollo de técnicas ha facilitado y perfeccionado el proceso de su ubicación espacial, independiente de cual sea la forma de los cuerpos [10]. Una de las principales consideraciones que facilita su estimación es que el centro de masa (CoM) y el centro geométrico (CG) son el mismo punto respecto al CoG, esta consideración tiene validez siempre y cuando se cumplan ciertas condiciones que se mencionan a continuación:

- El CoG se considera como la concentración de todo el peso de un cuerpo en un punto [1, 49], variando su posición respecto al movimiento y otros factores (fuerzas externas); este parámetro se ve afectado por la influencia de la gravedad que ejerce la tierra sobre los cuerpos [11, 68, 69]
- El CoM es un punto en cual se considera concentrada toda la masa del cuerpo [49, 67, 70], si se aplica una fuerza en ese lugar el individuo va a experimentar un movimiento de traslación pura sin rotaciones y para determinar su ubicación solo basta conocer la distribución de la masa en el cuerpo; también se le llama CoG porque está influenciado por la fuerza de gravedad terrestre [1]. Por lo tanto se considera que: CoG y CoM en un ambiente donde se vean afectados por la fuerza de gravedad son el mismo punto [67].
- El CG se define como un punto que al pasar una recta divide al cuerpo en dos partes de igual volumen, su ubicación varía dependiendo de la forma de los cuerpos, este parámetro coincide con el CoM siempre y cuando el cuerpo tenga una densidad uniforme, o su distribución de materia sea simétrica [1]; para el caso de los

cuerpos humanos, la densidad de la materia viva es bastante uniforme [71], de esta forma se puede asegurar que el cuerpo humano cumple la condición mencionada y tanto CoM como CG son el mismo factor.

Las anteriores consideraciones llevan a la conclusión que tanto CoG, CoM y CG corresponden al mismo punto, según las características que presenta la tierra para los seres humanos.

3.2.2. Estimación del CoG

A continuación se presentan algunos métodos de estimación del CoG, los cuales coinciden a una aproximación de la ubicación mostrada en la Figura.3.11

Estimación del centro de gravedad mediante la plataforma rectangular de momentos de Reynolds y Lovett

Consiste en extender de forma perfectamente horizontal una plataforma rectangular, la cual descansa por uno de sus extremos sobre un pivote de rozamiento nulo en un punto **O** y por el otro sobre un segundo pivote **O'** que está situado sobre una balanza que dará una lectura **P1**. Conocida la distancia **d** entre los pivotes, el peso **P** del sujeto al cual se le quiere determinar el **CoG** y la lectura de la balanza **P2** cuando el sujeto se recuesta sobre la plataforma, tendremos que la coordenada **X** del **CoG** del deportista estará dada por la ecuación $\mathbf{X}=(\mathbf{P2}-\mathbf{P1})/\mathbf{P}$, a lo largo de una línea situada a **X** distancia del punto **O**. Ver Figura3.12 [1].

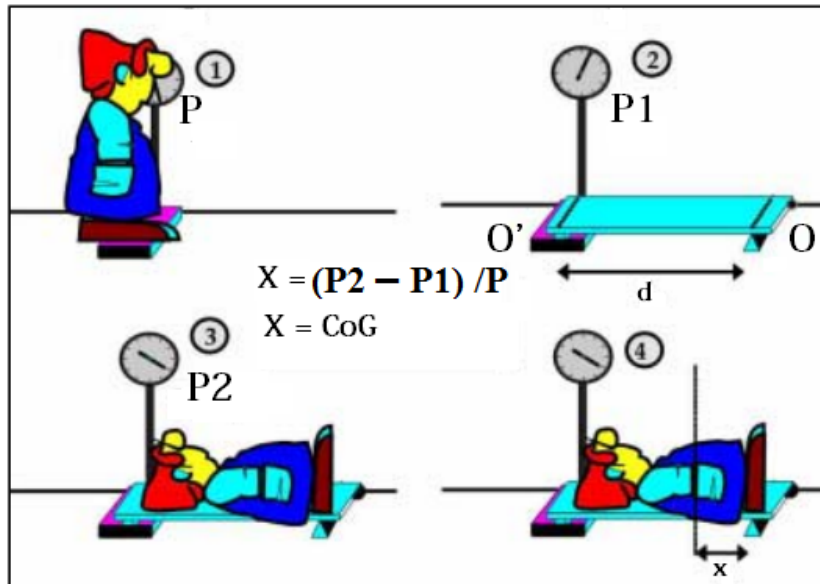


Figura 3.12: Estimación del CoG con el método de Reynolds y Lovett. Fuente: Calculo de la altura del CoG con la tabla de Reynolds y Lovett.

Determinación del centro de gravedad mediante la plataforma equilátera de Basler

Utiliza un procedimiento un poco similar al anterior para el cálculo del CoG en dos dimensiones. Consiste en una plataforma equilátera (triángulo de lados iguales) altura (d), la cual descansa por uno de sus vértices (O) sobre un pivote de rozamiento que se considere nulo, un segundo vértice ($A1$) sobre una balanza que registra la fuerza que ejerce sobre dicho vértice ($PA1$) y un tercer vértice ($B1$) que descansa sobre una segunda balanza que registra la fuerza ($PB1$). Encima de la plataforma se ubica la persona de peso (P) en la posición a la cual se le quiere medir el **CoG**, conocidos los anteriores valores y los de las balanzas con el sujeto encima de la plataforma ($PA2$ y $PB2$), tendremos que las coordenadas X e Y del CoG vienen dadas como: $X = (PB2 - PB1) \cdot d / P$, $Y = (PA2 - PA1) \cdot d / P$. Estas coordenadas estarán localizadas en un punto coincidente con la intersección de las dos líneas que distan X e Y de los lados de la plataforma (Figura.3.13) [1].

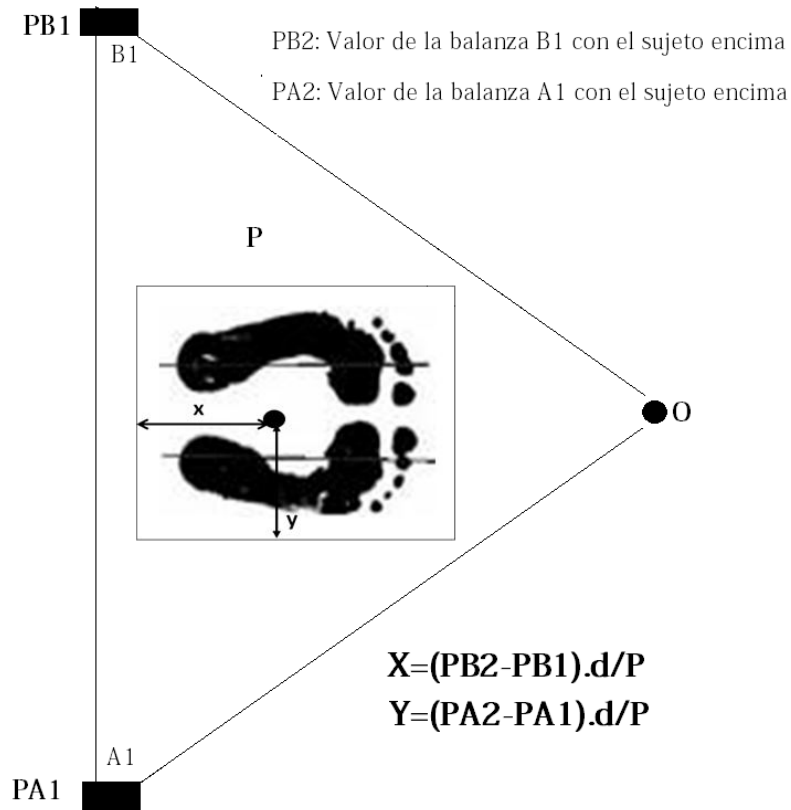
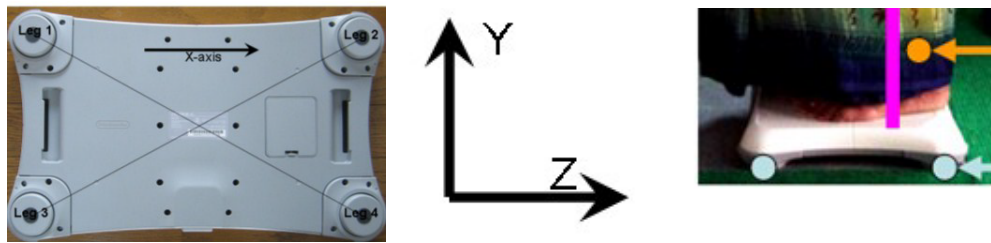


Figura 3.13: Estimación del CoG mediante la plataforma equilátera de Basler. Fuente: Algoritmos para la medición de centros de gravedad corporal en plataformas convencionales. Arcila, Juan (2013).

Plataforma de fuerza y Tabla de equilibrio wii

Derivados de los anteriores métodos, se encuentran equipos que realizan una estimación del CoG de manera más rápida gracias a que la información se puede mostrar y manejar mediante una computadora. Entre ellos están la Plataforma de fuerza [37, 26, 4, 50, 51, 22, 10] y la Tabla de equilibrio Wii [55, 47, 56, 28]; que funcionan como una plataforma horizontal (Figura.3.14), las cuales informan de la posición del CoG proyectada sobre la plataforma, esta proyección es conocida como el Centro de Presión (CoP por sus siglas en inglés).



(a) Tabla de equilibrio Wii. Se puede apreciar las cuatro patas, las cuales indican hacia a donde está ubicado el CoP. (b) Posición de la persona sobre la plataforma. Se puede apreciar que la coordenada X se dirige hacia los lados, Y indica la altura y Z indica hacia atrás o adelante.

Figura 3.14: Plataforma de fuerza y Tabla de equilibrio Wii.

Estimación mediante el método segmentario

El método segmentario en humanos es la división en porciones o partes del cuerpo, que permiten realizar un análisis individual o en conjunto de los segmentos de la persona [1]; para determinar con mayor exactitud un segmento corporal es necesario conocer dos puntos, el punto inicial o proximal y el punto final o distal [8]. Se puede realizar de diferentes formas dependiendo directamente de cuál sea el objeto de estudio, en algunos casos se hacen uso de puntos epidérmicos los cuales son ubicados en la piel, estos presentan gran margen de error debido a que la piel sufre deformaciones al realizar algún movimiento, haciendo que el punto de referencia cambie de posición y alterando la longitud del segmento; Por lo anterior es recomendable hacer uso de puntos de ubicación ósea o centros de rotación articular [8, 69].

Para el estudio del CoG, el cuerpo humano es dividido en 14 segmentos los cuales se muestran en la Figura 3.15.

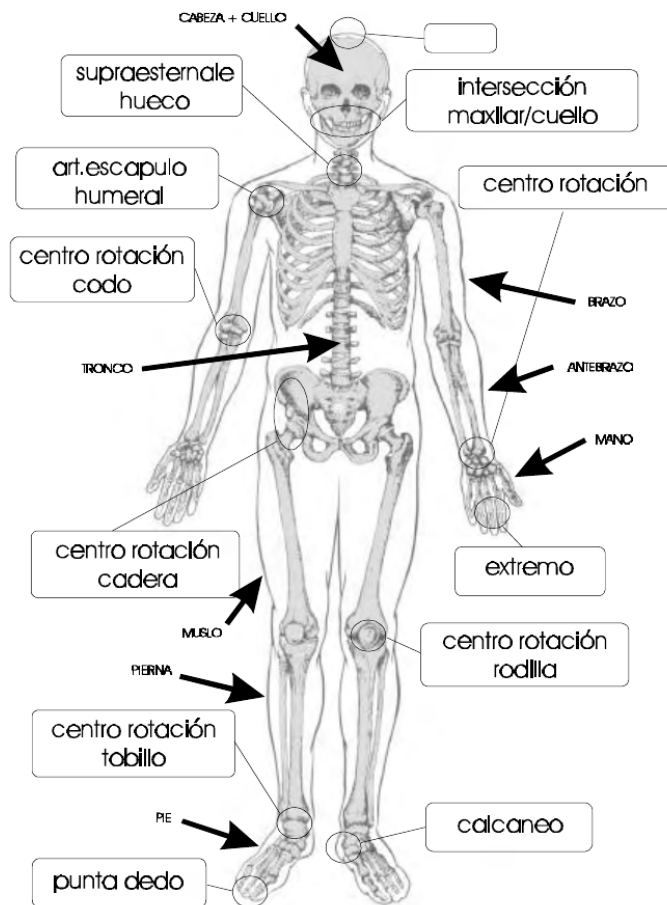


Figura 3.15: Puntos anatómicos y segmentos más habituales utilizados en los modelos biomecánicos. Fuente: Soto, V.M. y Gutiérrez, M. (1996).

Inicialmente el proceso de segmentación era una labor ardua y tediosa, debido a que solamente se trabajaba en cadáveres humanos sobre los cuales se realizaba cortes de sus extremidades y tronco, para luego ejecutar un estudio específico que conlleve a un método de estimación del CoG corporal [8]. Por esto se vio la necesidad de hacer uso de un sistema de captura que proporcione información de profundidad, que permita realizar segmentación en seres humanos vivos; una opción recomendable gracias a su costo y

precisión es el sensor Kinect de Microsoft, debido a que proporciona las coordenadas tridimensionales de las articulaciones de una persona y junto con los vectores de los segmentos es posible realizar una estimación del centro de masa corporal [1, 72].

A continuación se describen las características técnicas del sistema de adquisición de datos utilizado, el Kinect.

3.3. Dispositivo Kinect

El sensor Kinect es un sistema que muestra información de datos de profundidad, la configuración de su sistema software puede mostrar segmentación de personas y realizar estimaciones del CoG precisas, por eso este sensor es muy usado en estas tareas [1, 28, 37, 55].

Este dispositivo integra una cámara de color, un sensor de profundidad, un acelerómetro de tres ejes, un motor y un set de micrófonos [21, 29, 45, 72, 73]. Además tiene incorporado su software patentado, el cual permite realizar la captura de reconocimiento facial y el movimiento de todo el cuerpo en 3D [10, 73].

A continuación, se realiza una breve descripción de los componentes principales del dispositivo [29, 45, 73]:

- **Cámara RGB:** es un sensor de imagen CMOS, el cual permite almacenar los datos que son enviados por los sensores; poseen una resolución máxima de 1280x960 suficiente para poder capturar una imagen en color y envía datos a una frecuencia máxima de 30fps; además, capta las coordenadas de los ejes X-Y conocidos como resolución espacial.
- **Set de Micrófonos:** se compone de un total de 4 micrófonos, tienen como funciones eliminar el ruido del ambiente y permiten localizar una fuente acústica, además poseen la capacidad de grabar audio.
- **Motor:** permite realizar movimientos verticales del dispositivo con una inclinación de 27 grados por encima y 27 grados por debajo de su eje horizontal.
- **Sensor 3D de Profundidad:** se compone al combinar un emisor de laser infrarrojos (IR) y un sensor de imagen CMOS, donde el emisor es el encargado de enviar haces de luz infrarroja y el sensor lee los haces que son reflejados. Para calcular la distancia de profundidad se hace una comparación de una imagen patrón con la imagen recogida.

- **Acelerómetro de 3 ejes:** se encuentra configurado para un rango de 2 veces la aceleración de la gravedad, determina cuál es la orientación del Kinect permitiendo estabilizar las imágenes captadas cuando el sensor es sometido a movimientos.

Es importante resaltar que este dispositivo presenta inconsistencia en la estimación de imágenes en 3D cuando es expuesto a ciertas condiciones de iluminación, entre las que se encuentran la luz natural y la luz alógena; esta consola tiene un mejor comportamiento en la recolección de datos de 3D bajo condiciones de poca luz, pero no totalmente oscuro [9, 31, 72, 73, 74].

En la Tabla 3.1, a modo de resumen se puede observar las características más importantes del dispositivo Kinect.

Tabla 3.1: Características del dispositivo Kinect.

Característica	Especificaciones
Campo de visión	Vertical: 43°, Horizontal: 57°.
Rango de inclinación física	Alrededor de 27°.
Características de entrada de audio	Matriz de 4 micrófonos con un convertidor analógico-digital de 24 bit y un procesamiento de la señal que elimina el eco y el ruido.
Rango de profundidad	Permite 2 modos: Default Mode y Near Mode.
Flujo de datos de profundidad	80x60, 320x240, 640x480. A 30 fps.
Flujo de datos de color	640x480 32 bit de color a 30 fps. 1280x980 RGB a 12 fps. Raw YUV 640x480 a 15 fps.
Flujo de datos de audio	Audio de 32 y 64 bits, en función del SO.
Cantidad de sensores a usar en un equipo	Permite utilizar hasta 4 sensores a la vez en el mismo equipo bajo las siguientes premisas: cada sensor debe estar en un puerto USB diferente, el PC debe tener potencia suficiente para soportar los 4 sensores.

3.3.1. Controlador del dispositivo

En la literatura existen diferentes formas para acceder a las características ya mencionadas. En esta sección se resumen algunos controladores del Kinect y se justifica la utilización del controlador escogido; entre los cuales están:

- **OpenKinect:** soporta el acceso a los datos RGB y profundidad, el motor de Kinect, el acelerómetro y el LED. No tiene acceso a los micrófonos [45].

- **OpenNI:** implementa el seguimiento de la mano/esqueleto y el reconocimiento de gestos. OpenNI no proporciona acceso ni al motor ni al acelerómetro⁹ [45, 75, 76].
- **Microsoft Kinect Para Windows:** permite crear aplicaciones para Windows en distintos lenguajes de programación, como C++, C# o Visual Basic utilizando Microsoft Visual Studio [9, 45]. Este kit es gratuito, pero es necesario tener una versión activada de Windows 7 o una versión superior para poder utilizarlo [45, 75].

3.3.2. Elección del Kit de Desarrollo de Software (SDK) oficial de Microsoft Kinect para Windows

Uno de los beneficios que presenta Microsoft Kinect respecto a OpenNI, es que posee la función de interactuar con el motor del sensor Kinect para variar el ángulo de captura, garantizando que la persona se encuentre entre los márgenes de escaneo establecidos. El SDK permite acceder al acelerómetro, además OpenNI carece de rotación para la cabeza, manos, pies y clavículas, los cuales son segmentos de gran importancia a la hora de realizar una estimación adecuada del CoG. Otro beneficio de gran relevancia es que el SDK no necesita realizar calibración de los sensores cada vez que se desee realizar un rastreo [75, 76, 77].

El software de SDK Microsoft Kinect permite interactuar con un PC por medio del puerto USB, además brinda un escaneo de cuerpo completo, función de vital importancia a la hora de realizar segmentación corporal y estimación del CoG en personas. Por último el SDK posee documentación detallada para la realización de cualquier proyecto con el dispositivo Kinect para programadores de todos los niveles [77].

3.3.3. Adquisición de datos y estimación del CoG

La forma de generar la imagen de profundidad es utilizando el componente infrarrojo del Kinect, el emisor IR envía un haz de luz hacia el sujeto y se refleja, siendo capturado por el sensor receptor IR; el software del Kinect contabiliza el tiempo que tarda el haz de luz en rebotar y volver al dispositivo, pero dicho mecanismo es muy costoso computacionalmente cuando se trata de generar toda un mapa de bits de profundidad. Para calcular cada una de las profundidades de cada pixel la empresa Microsoft optó por una técnica conocida como “structured light” o, en español, luz estructurada. Para conocer la distancia a la que se encuentra cada píxel de la imagen de profundidad se emite una constelación de puntos con intensidades en un patrón preestablecido en el emisor infrarrojo. Entonces, la cámara infrarroja detecta la distancia a la cual se capta

⁹Más información acerca de OpenNI: <http://animusproject.wix.com/web/apps/blog/openni-la-alternativa-open-source-para-hablar>

la señal emitida por cada pixel de esta constelación y Kinect calcula en base a esta su profundidad utilizando un chip dedicado para tal fin. Implícitamente se debe tener un arreglo de espejos móviles muy bien calibrados para generar los patrones en el emisor y cubrir todo el espacio de trabajo [1].

A continuación, el software toma estas imágenes y las hace pasar por una serie de filtros para que Kinect determine qué es una persona. Para esto se siguen una serie de parámetros, en los cuales se define la estructura del cuerpo humano, para impedir que los obstáculos presentes en la escena sean reconocidos como otras personas. El Kinect puede realizar todo el reconocimiento de una persona debido a que sus desarrolladores capturaron diferentes posturas (más de un millón) con videos de personas comunes, con esto crea una base de datos estadísticos que le facilitan a tener una imagen de la persona y trazar los 20 puntos (articulaciones) de referencia del esqueleto [1].

Con el uso de la PC y con el SDK oficial del Kinect se pueden realizar los trackeos del esqueleto de una persona, haciendo una configuración para mostrar en forma de segmentos las extremidades, cuerpo y cabeza; además de las articulaciones (ver Figura.3.16) [1].

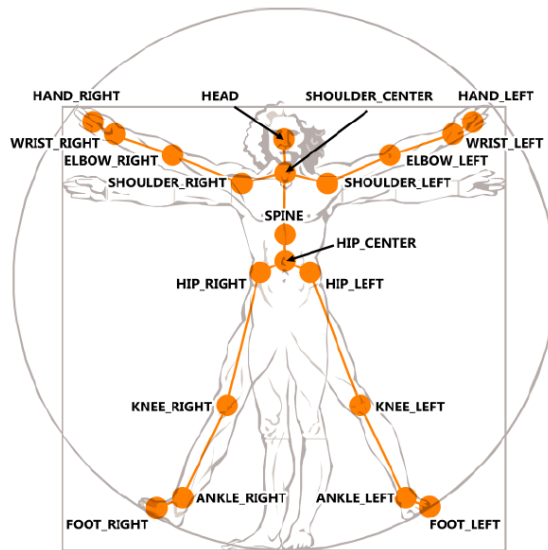


Figura 3.16: Segmentos del cuerpo que representa el esqueleto humano. Los puntos representan las articulaciones principales. Fuente: Dutta, Arindam. 2013

Mediante la información de segmentos y articulaciones que se muestra en el software del Kinect, se puede aplicar el método segmentario resumido en la sección 3.2.2 de este mismo capítulo. El código generado para mostrar tanto los segmentos del cuerpo como las articulaciones están dentro del paquete de desarrollo del Kinect (SDK), sobre el cual se adicionan líneas en las que se ordene realizar una estimación de CoGs segmentarios

usando las medidas antropométricas de la Tabla 2.1, de igual modo en el mismo código se hace la sumatoria de todos los CoGs segmentarios tanto en X, Y y Z mediante las formulas mostradas en 3.1, 3.2, 3.3 para obtener una estimación general de la posición del CoG del cuerpo humano [20].

$$X = \sum x_i \quad (3.1)$$

$$Y = \sum y_i \quad (3.2)$$

$$Z = \sum z_i \quad (3.3)$$

Donde el subíndice **i** se refiere a la i-ésima articulación.

Capítulo 4

Método

En este apartado se presenta el proceso que se desarrolló para dar cumplimiento al objetivo del trabajo de grado, iniciando desde la adecuación del cuarto de pruebas hasta la obtención de los datos capturados por el Kinect, tanto de las articulaciones como del CoG mostradas en un PC, bajo un control de condiciones de luz artificial.

4.1. Adecuación del sitio de pruebas

El principal objetivo en esta parte es montar un escenario que impida el ingreso de luz natural, ya que se pretende capturar datos de profundidad mediante la cámara IR del dispositivo Kinect. Para eso se dispone de un cuarto pequeño (ver Figura.4.1) con facilidad para bloquear cualquier tipo de señal lumínica proveniente del exterior, principalmente la luz natural, ya que es la principal causante de ruido para la cámara IR.



(a) Vista diagonal.

(b) Vista frontal.

Figura 4.1: Cuarto abierto, en horas del día

El proceso se logra cubriendo las áreas por donde se filtran los rayos de luz; para esto se hace uso de materiales absorbentes o reflejantes como cartulina y cortinas de color negro, las cuales se ubican sobre ventanas, puertas, rendijas y espacios abiertos (Figura 4.2). Este color es apropiado porque proporciona una sensación óptica en la que no hay reflexión de luz, es decir, absorbe todo su espectro, evitando que la luz exterior penetre al sitio de pruebas y que interna sea reflejada en el proceso ^{1 2}.

¹Información acerca del comportamiento de la luz en materiales de color negro tomada de: Unidad didáctica 5. La luz.

²Otra fuente con información del comportamiento de materiales negros u oscuros en la luz es: Manuel Álvarez. El color y el calor, <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia17/HTML/articulo08.htm>



Figura 4.2: Cuarto encerrado con material oscuro, iluminado con luz led

4.1.1. Dimensiones

El espacio del cuarto en donde se desarrollan las pruebas tiene dimensiones pequeñas, por lo que resultaría fácil realizar un bloqueo de luz natural, sin hacer uso de grandes cantidades de material, lo que implica mayor economía; pero las dimensiones deben estar por encima de las requeridas para trabajar con el Kinect, como se mencionará próximamente. Por ahora se muestran las dimensiones del cuarto usado en el presente trabajo:

- Alto: 2,20 m.
- Ancho: 2,20 m.
- Largo: 2,70 m.

Obteniendo un área total de 5,94 metros cuadrados. Las dimensiones indican que el espacio cumple con los requisitos básicos para llevar a cabo la captura de información y monitorización de cuerpo entero con un dispositivo Kinect [72]. Además proporciona un espacio apropiado para la instalación y ubicación de las diferentes fuentes de iluminación en distintas posiciones.

4.1.2. Posicionamiento de los principales actores dentro del cuarto de pruebas

Kinect

El dispositivo Kinect presenta un rango de medidas en las cuales puede estar ubicado frente al objeto de estudio.

Altura desde el suelo: esta medida varía dependiendo del tamaño del participante, se recomienda que el dispositivo Kinect este de frente a la altura del ombligo. En algunos trabajos el rango de medida para la captura de imagen del cuerpo completo oscilan entre 0.8m a 1m desde el suelo [29, 78]. Para el presente trabajo de grado la altura del dispositivo es fija (debido a que se adapta un soporte el cual no permite variar la altura del Kinect), independiente de la estatura del participante; de modo que tenga un ángulo de visión que permita capturar la imagen del cuerpo de personas de alta y baja talla. La altura del dispositivo es de 0,9 m desde la superficie del suelo (Figura.4.3), este es un dato promedio obtenido a partir de las estaturas de los participantes escogidos para la realización de este trabajo.

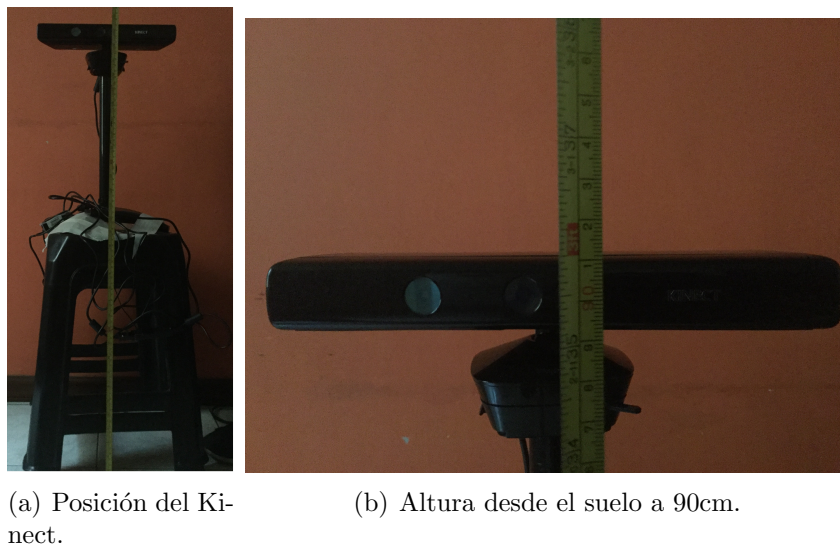


Figura 4.3: Imágenes de la altura a la cual se coloca el dispositivo Kinect.

Participante

Como en el caso anterior, la distancia del participante frente al dispositivo Kinect varía de acuerdo a su estatura, ya que a mayor talla, mayor distancia participante-

dispositivo. En [72] utilizan un rango entre 1m a 3,5m de distancia de acuerdo a la altura del participante y en [78] utilizan una distancia de 3m; la distancia es limitada por la fuerza del emisor infrarrojo [9]. Esta información se toma en cuenta para la realización de este trabajo, de modo que se ubica a los participantes en fase de bipedestación a una distancia que oscila entre los 1,95m a 2,2m (dependiendo de la altura del participante) frente al Kinect, medida la cual garantiza que todos se encuentren lo suficientemente lejos para estar dentro del rango de visión del sensor y lo suficientemente cerca para ser alcanzados por la fuerza del emisor infrarrojo (Figura.4.6).

4.1.3. Fuentes lumínicas

Las fuentes usadas para iluminar el cuarto son un tipo de bombillas led, que emiten luz monocromática, las cuales brindan una facilidad para cambiar el color de iluminación (Figura.4.4). Las especificaciones se muestran en la Tabla 4.1³.



Figura 4.4: Fuentes led usadas en la iluminación del cuarto. Fuente: E27 3W LED globo bulbo RGB 7 Color control remoto.

³Fuente de la información: <http://www.dx.com/es/p/e27-3w-6500k-seven-color-rgb-led-bulb-w-remote-controller-white-silver-85-265v-189349#.WEW11bLhDIU>

Tabla 4.1: Especificaciones de las fuentes usadas para la iluminación del cuarto.

Característica	Especificaciones
Material	Plástico + Aluminio.
Color.	Blanco + Plata.
Tipo de emisor.	Led.
Energía.	9 W.
Compartimiento del Color	Luz de 7 colores.
Voltaje de la tarifa	85 V a 265 V.
Voltaje de funcionamiento de la vira	12 V a 18 V.
Flujo luminoso	30-35 lm (luz roja), 15-20 lm (luz azul), 40-45 lm (luz verde).
Temperatura de color	6000-6500 K.
Longitud de onda.	620-630 nm (luz roja), 465-475 nm (luz azul), 515-525 nm (luz verde).
Tipo de conector.	E27.
Otras características.	Mando a distancia accionado por 1xCR2025, puede hacer LED lámpara luz diming y cambiando poco a poco.
Lista de embalaje	1 x Bombilla, 1 x Controlador remoto, 1 x Batería CR2025.

Para instalar las fuentes se realiza un circuito eléctrico verificando que emitan el mismo brillo, para obtener una iluminación uniforme. Para esto se monta un circuito en paralelo (el cual proporciona el mismo voltaje a cada una de las fuentes lumínicas) que se extiende a partir de la red eléctrica doméstica con cableado de cobre (nada fuera de lo normal). Se debe tener en cuenta que las características técnicas de los materiales sean iguales; es decir, se debe usar la misma clase de cable y el mismo tipo de fuentes, con el fin de lograr los niveles de potencia homogéneos. El montaje debe permitir una libre labor durante el proceso, sin incomodidades ni inconvenientes, por lo que se extiende la red sobre el techo del cuarto, asegurando que las fuentes iluminen el objetivo (Figura.4.5).



Figura 4.5: Extensión de la red eléctrica sobre el techo del cuarto

Es importante mencionar que este tipo de fuentes LED (de emisión de luz monocromáticas), fueron usadas para el proceso de captura de datos por las siguientes razones: i) la iluminación está formada por componentes que emiten un color similar, ii) se disminuye la componente infrarroja de la luz, la cual causa ruido en el sensor Kinect, iii) presentan eficiencia lumínica, emitiendo menos calor, iv) contienen un rango pequeño de longitud de onda correspondiente al color emitido, esto facilita el análisis de cada color.

4.2. Protocolo de toma de datos

Antes del proceso de la extracción de los datos, cada participante o actor involucrado debe tener claro el protocolo a seguir, para agilizar el mecanismo y evitar al máximo algún tipo de interrupción. A continuación las acciones que se deben seguir.

4.2.1. Posicionar las fuentes de luz

Se utilizan 4 tipos de posicionamiento de las fuentes de luz, para cada una se utilizan 4 bombillas led, las cuales se ubican en diferentes puntos sobre el techo del cuarto de pruebas, a moderada distancia del participante y a una altura de 1.85mts del suelo, se debe garantizar que cada posición brinde una adecuada iluminación sobre el participante, respecto al observador que en este caso es el dispositivo Kinect. Para la ubicación de las diferentes posiciones, se toma como referencia un punto al cual se denota con la

letra (**P**) (ver Figura.4.6), el cual es una marca que indica la proyección de la ubicación del participante sobre el techo, es decir (**P**) esta justo encima del él. Todas las fuentes se instalan en la parte superior del cuarto para evitar obstrucciones, a continuación se describen 4 posiciones las cuales entregan respectivamente una forma de iluminación.

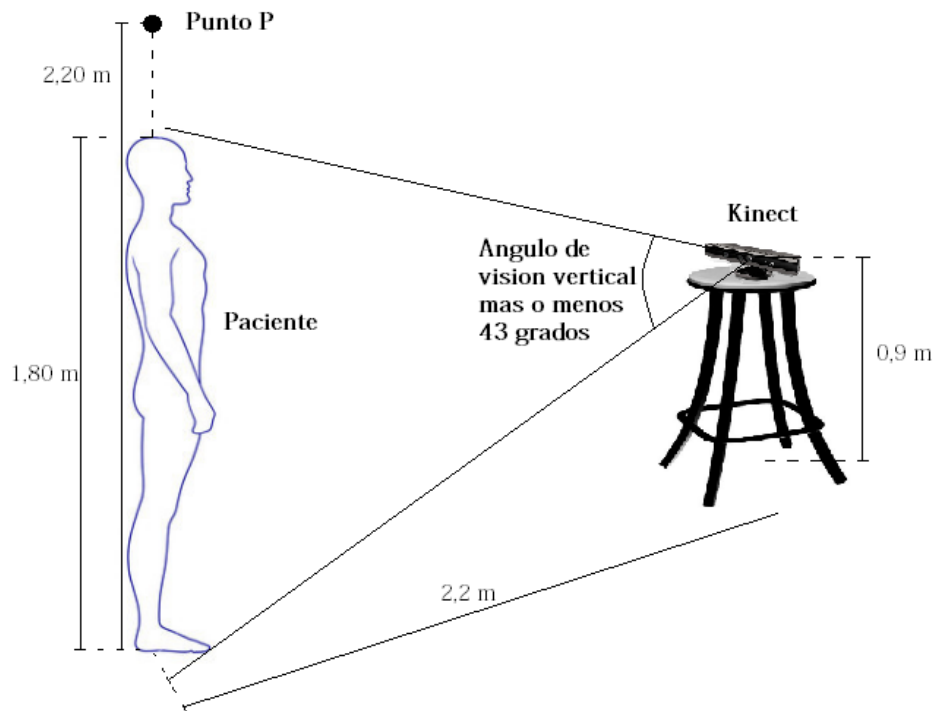


Figura 4.6: Medidas principales. Distancia Kinect-Paciente en persona de 1,80 m es de 2,20 m. Ubicación del punto (P) justo encima del participante.

- ILUMINACIÓN 1 (I1):** se ubican 2 fuentes en posición lateral, las cuales se encuentran a cada lado del participante, con el fin de eliminar sombras laterales y evitar que un costado de la persona quede sin iluminación; se encuentran posicionadas a una distancia de 1m de (**P**). Las 2 fuentes lumínicas restantes se posicionan en iluminación frontal respecto al objeto iluminado, a una distancia de 1,30 m de (**P**), separadas entre sí 20cm (Figura.4.7), proporcionando una iluminación del frente de la persona la cual entrega una perspectiva plana.

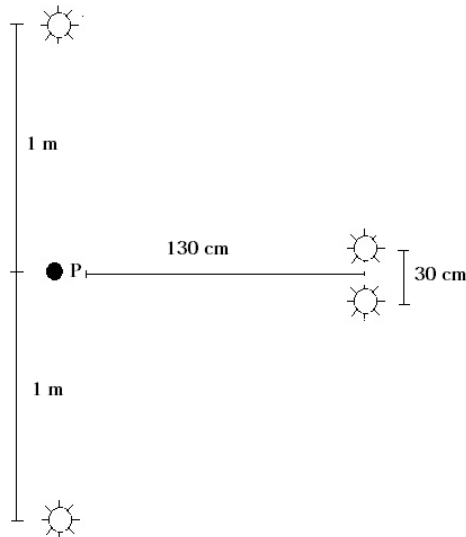


Figura 4.7: Primera posición de las fuentes. Vista del cuarto desde encima.

- ILUMINACIÓN 2 (I2):** la ubicación de todas las fuentes se encuentran al frente del participante (se encuentran en iluminación frontal según la sección 3.1.7) y está dada en pares: el primer par de bombillas se ubica a una distancia de 1,30 m de (**P**), separadas entre sí una distancia de 20 cms; el otro par de bombillas se posiciona a una distancia de 1,50 m de (**P**) y están separadas una distancia de 30 cms entre sí (Figura.4.8). Con la iluminación se logra mejor imagen frontal capturada por la cámara RGB del dispositivo Kinect.

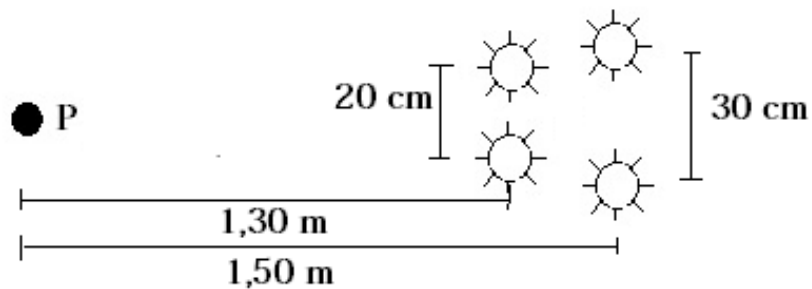


Figura 4.8: Segunda posición de las fuentes. Vista del cuarto desde encima.

- ILUMINACIÓN 3 (I3):** se ubican 2 fuentes en iluminación diagonal frontales (ver sección 3.1.7) respecto al objeto iluminado, se encuentran ubicadas a una distancia de 2,30 m de (**P**) separadas por un espacio de 2 m entre sí; las otras 2 fuentes lumínicas están en iluminación frontal (ver sección 3.1.7), centradas

frente al participante a una distancia de 1,30 m de (**P**) y separadas entre sí por 20 cm (Figura.4.9). Esta iluminación hace que se pierda la profundidad espacial del participante.

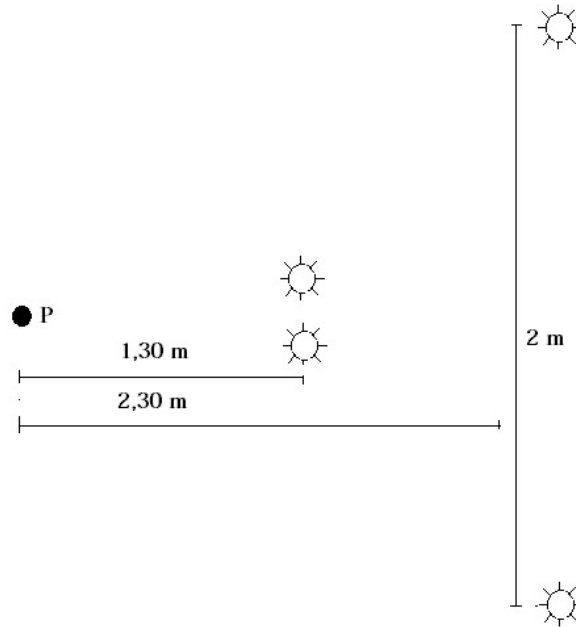


Figura 4.9: Tercera posición de las fuentes. Vista del cuarto desde encima.

- **ILUMINACIÓN 4 (I4):** es una variación de la ILUMINACIÓN 3, se aleja la posición de las 2 bombillas centradas a una distancia de 2,30m de (**P**) frente al participante, mientras que las otras dos bombillas se mantiene en su posición (diagonales frontales). Esto hace que la iluminación sea totalmente frontal (Figura.4.10), permitiendo observar al objeto iluminado como plano y haciendo que se pierda la profundidad espacial del participante.

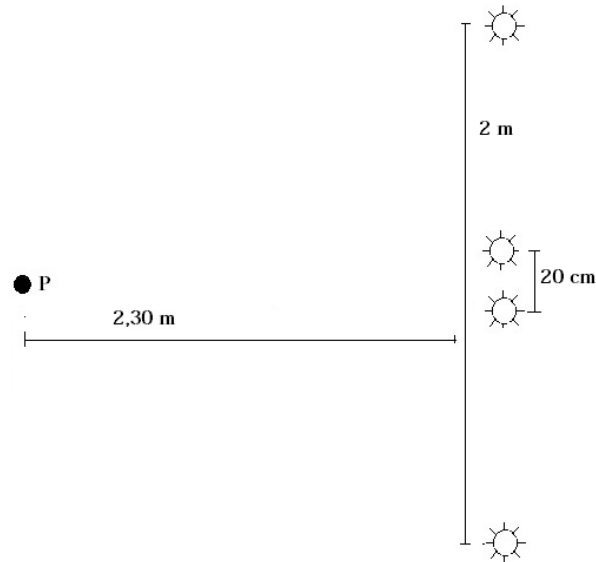


Figura 4.10: Cuarta posición de las fuentes. Vista del cuarto desde encima.

4.2.2. Verificar y adecuar el sistema

Previo al ingreso del participante al cuarto, se verifica:

- El funcionamiento de cada dispositivo y el sistema en general. Ej: el encendido de las luces, la activación del dispositivo Kinect, la captura de la información en el PC, etc.
- La adecuada disposición del cuarto. Ej: eliminación de objetos o miembros ajenos al ambiente, cerrar cortinas y puertas, etc.
- Que la vestimenta del participante no sea holgada. Retirar todo tipo de accesorios que sean brillantes o que generen reflexiones de luz.

Esto permite la toma de datos en igualdad de condiciones para cada participante, también se evita reducir el cansancio, desespero e incomodidades en cada uno de los participantes que puede generar el permanecer en fase de bipedestación por un tiempo prolongado que dura el proceso.

4.2.3. Ingresar al participante al cuarto de pruebas

Después de garantizar el normal funcionamiento del sistema, se prosigue a ingresar al participante al cuarto de pruebas, a excepción del maniquí, se explica el rol que debe

desempeñar cada uno durante el proceso, estas se le hacen con anterioridad para lograr un proceso fluido y rápido. Ya dentro del cuarto se ubica al individuo sobre el lugar que debe permanecer durante la recopilación de datos, su posición está ubicada en un punto previamente delimitado sobre el suelo, a las personas se les informa que deben tomar una postura de bipedestación erguida y que busquen su punto de confort, debido a que debe guardar un estado de quietud en lo mínimo de 30 min.

4.2.4. Variar el color de la iluminación (rojo, verde, azul)

En esta parte se hace un cambio de la frecuencia espectral F en cada una de las fuentes de luz para obtener 3 colores de iluminación. Inicialmente se hace uso de luz blanca para iluminar el cuarto mientras se ubica al participante y observadores; con la misma se calibra el sistema, sirviendo como referencia en caso que se tenga que volver a reiniciar el proceso, es decir, como ejemplo: calibro el sistema con luz blanca en donde las coordenadas de posición del CoG sean $X=0.0m$, $Y=0.9m$ y $Z=2.1m$; si por accidente el kinect se mueve entonces se debe volver a colocar en su punto inicial y las coordenadas del CoG deben ser las mismas con las que se inició la captura de datos bajo la luz blanca. De esta forma se puede continuar el proceso en donde había quedado sin necesidad de reiniciarlo nuevamente.

- **F1:** después de estar iluminado el cuarto con luz blanca, la primera toma de datos se realiza iluminando el cuarto con luz de color azul, para esto se verifica que todas las fuentes estén radiando en el mismo rango de frecuencia. El cambio de color se lo realiza usando el control remoto dispuesto para las fuentes. Según la Tabla 3.1, para la fuente led usada en este trabajo, el rango que presenta este color de luz esta entre 465nm-475nm.
- **F2:** posteriormente, se ilumina el cuarto con luz roja. Con el control remoto se verifica que cada una de las fuentes emita el mismo tipo de color para obtener una percepción uniforme de luz roja sobre todo el lugar. El rango de longitud de onda que presenta este color de luz según la fuente led usada esta 620nm-630nm (ver Tabla 3.1).
- **F3:** se finaliza esta fase iluminando el cuarto con luz verde. El proceso de cambio de frecuencia y verificación es el mismo que en los casos anteriores (F1 y F2) y de igual manera con la Tabla de especificaciones 3.1 se puede decir que para este color de luz el rango de longitud de onda está entre 515nm-525nm.

Se decidió escoger estos colores de luz, porque cada uno de ellos abarca un rango de frecuencias en diferentes extremos del espectro electromagnético visible, como se puede ver en la figura 3.1, cada uno de ellos se ubican en una zona de frecuencias baja

(rojo), media (verde) y alta (azul); esto con el objetivo de mirar con mayor diferencia el comportamiento del dispositivo Kinect bajo estos tipos de iluminación, en los que se encuentran cerca al infrarrojo, en una zona neutra y cerca al ultravioleta.

4.2.5. Variar la intensidad lumínica

La cámara de profundidad del dispositivo Kinect es menos afectada a menor intensidad de la luz natural; sin embargo, se hace un análisis del papel que juega la intensidad de luz artificial (con lámparas de luz led) para capturar datos de profundidad. Por lo tanto, para este trabajo experimental se manejan tres intensidades lumínicas diferentes, a las cuales se les llama: alta, media y baja. El valor en lúmenes de las intensidades altas oscila entre los 20-45, dependiendo el tipo de color de luz (20 lm valor de la intensidad alta del color de luz azul, mientras que 45 es el valor de la intensidad alta del color de luz verde), para la intensidad baja los valores están entre los 15 y 40 lúmenes (15 para la luz de color azul y 40 para la luz de color verde), ver la Tabla de especificaciones [4.1](#)

- **Intensidad alta:** es la máxima capacidad que soporta cada una de las fuentes; para este caso son 9 Watts. Al tener las mismas especificaciones técnicas y con un circuito uniforme, cada fuente emite el mismo brillo, esto se verifica con el medidor de lúmenes o luxómetro. Esta intensidad varía dependiendo del color, para la luz azul el valor de lúmenes es 20, para la luz roja es 35 lm y para la luz verde es 45 lm.
- **Intensidad media:** a cada fuente de luz se le reduce el brillo con el control remoto hasta obtener el mismo nivel de intensidad de cada una. Se verifica la uniformidad con el medidor de lúmenes. Para la luz azul el valor de lumen es 18, para la luz roja es 33 lm y para la luz verde es 43 lm.
- **Intensidad baja:** con el control remoto se coloca cada uno de los bombillos en la menor intensidad posible que puedan entregar, siempre y cuando no sea cero; se garantiza que proporcionan el mismo brillo con el medidor de lúmenes. Para la luz azul el valor de lumen es 15, para la luz roja es 30 lm y para la luz verde es 40 lm.

Se debe tener en cuenta que el Luxómetro es un instrumento muy sensible a la distancia de la fuente, con el mínimo movimiento cambia el valor de medida, se debe tener mucho cuidado a la hora de realizar medidas.

4.3. Procedimiento

El proceso se realiza para 5 participantes: 3 hombres, 1 mujer y 1 maniquí (para poder determinar cual es la variabilidad del sistema de medición debido al kinect, unicamente), los cuales presentan estaturas diferentes: el Participante 1 (P1) = 1.80m de estatura, el Participante 2 (P2) = 1.69m, el Participante 3 (P3) = 1.64m, la Participante 4 (P4) = 1.59cm y el Participante 5 (P5) = 1.85m. Previo al ingreso al cuarto, es necesario tener comunicación con las personas participantes, en la cual se le da a conocer el objetivo de este trabajo y se le informa que no saldrá perjudicado o que no correrá riesgo alguno a su integridad física y moral, de igual forma se le da a entender la ayuda en la investigación para obtener disponibilidad de colaboración. Posteriormente, se le especifica la indumentaria apropiada que debe presentar al momento de las pruebas y la posibilidad de portar ropa cómoda, la cual no sea holgada. El día de la toma de datos antes del ingreso del participante al cuarto de pruebas, se le explica del procedimiento que debe seguir, además se realiza una revisión general tanto del participante, como del funcionamiento del dispositivo Kinect, las fuentes de iluminación y del adecuado bloqueo de la luz externa.

Después del ingreso del participante al sitio de pruebas y antes de comenzar con el proceso de captura de datos, se colocan las fuentes en luz blanca, mientras se calibra el valor aproximado de la coordenada X del CoG en 0.00 cm, esto garantiza que el participante está ubicado exactamente al frente del dispositivo, parámetro que es usado como referencia ya que para las coordenadas Y y Z los valores varían respecto a la estatura de las personas, así: la distancia (coordenada Z) adecuada para capturar la imagen completa del primer Participante de estatura 1,80 m, Z marca una distancia de 2,10 m e Y que es la altura del CoG respecto al Kinect indica una medida de 0,10 m ⁴; para el quinto participante con estatura de 1,85 m es de 2,11 m, mientras que la altura de su CoG respecto al dispositivo Kinect es de 0,12 m

A continuación se muestra el proceso de toma de datos en el primer Participante (P1) (adulto con estatura de 1,80 m), debido a que el protocolo para la captura de datos en personas era algo mas lenta (no diferente) que sobre el maniquí.

4.3.1. Toma de datos

Toma 1. Para la primera captura de datos se configuran las fuentes en ILUMINACION 1 (I1), FRECUENCIA 1 (F1) e INTENSIDAD alta. La posición corporal debe ser en fase de bipedestación y erguida (Figura.4.11), se informa al individuo que debe permanecer en esta posición durante al menos 10 segundos sin realizar ningún tipo de

⁴Altura del CoG respecto al Kinect: para saber la altura del CoG en la persona simplemente se suma la altura del CoG que mide el Kinect mas la altura a la cual está ubicado el dispositivo.

movimiento; durante este tiempo se corre el programa Visual Estudio que controla al dispositivo Kinect mediante un computador; sus cámaras escanean el cuerpo reconociendo los puntos de las articulaciones y del CoG, de los cuales envía la información de sus coordenadas a una frecuencia de 30 datos por segundo de cada uno, es decir se recogen 300 datos.



(a) Vista frontal.

(b) Vista lateral.

Figura 4.11: Posición en bipedestación frontal y lateral.

Seguidamente con uso del computador se procede a extraer la información tanto de las articulaciones como del CoG, dando por terminada la primera toma mientras que el sistema se configura para la siguiente.

A continuación se presenta los diagramas del funcionamiento software e interacción administrador-usuario.

Casos de uso Usuario

Rol	Descripción.
Usuario	Una vez el administrador le indique el sitio donde deberá ubicarse, este tomará una postura en fase de bipedestación y guardará quietud hasta que el administrador se lo indique (aproximadamente 10 segundos tiempo estipulado), para que el dispositivo Kinect escanee y recolecte los datos necesarios en cada caso.

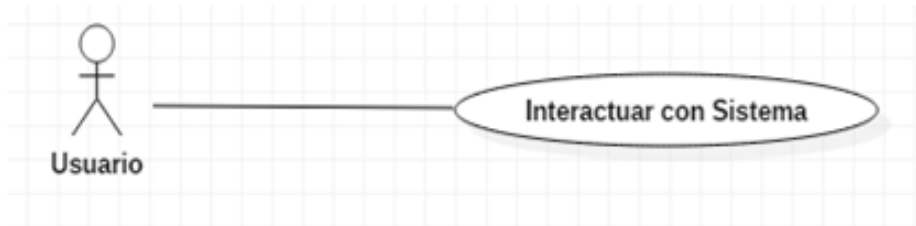


Figura 4.12: Diagrama UML de casos de uso para los participantes. Fuente: Propia

Casos de uso Administrador

Rol	Descripción.
Administrador	Una vez el administrador corra el programa se desplegara la interfaz de usuario, con esto podrá verificar que el usuario se encuentre en los límites bajo los cuales el dispositivo Kinect podrá escanearlo, a continuación podrá inicializar el escaneo el cual dura aproximadamente 10 segundos, el dispositivo Kinect enviara el archivo .csv al mando en donde se procesara y se guardara con la descripción que le corresponda. El administrador procederá a realizar las variaciones pertinentes en intensidad , color o cambio de posición y se repetirá el proceso.

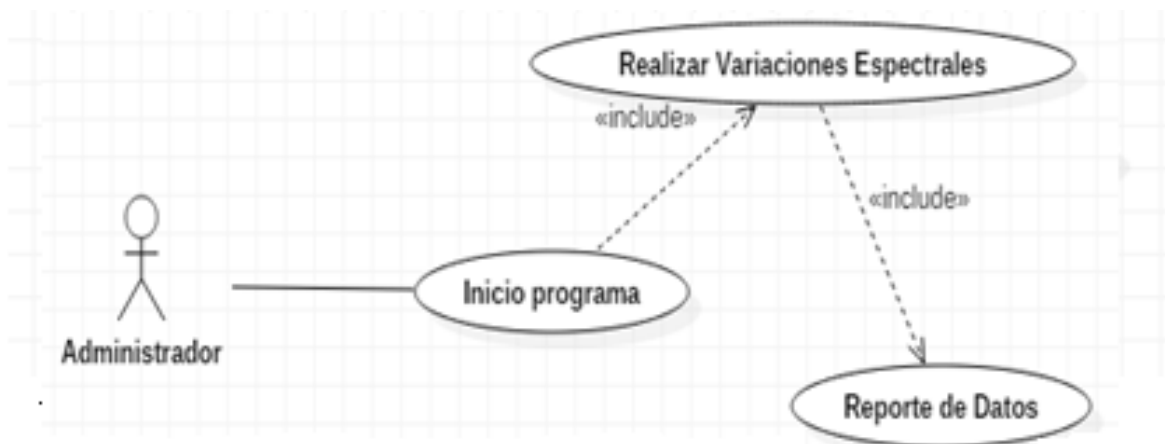


Figura 4.13: Diagrama UML de casos de uso para los Administradores. Fuente: Propia

Diagrama de clase

Este diagrama permite visualizar la relación que existe entre las clases que involucra el sistema.

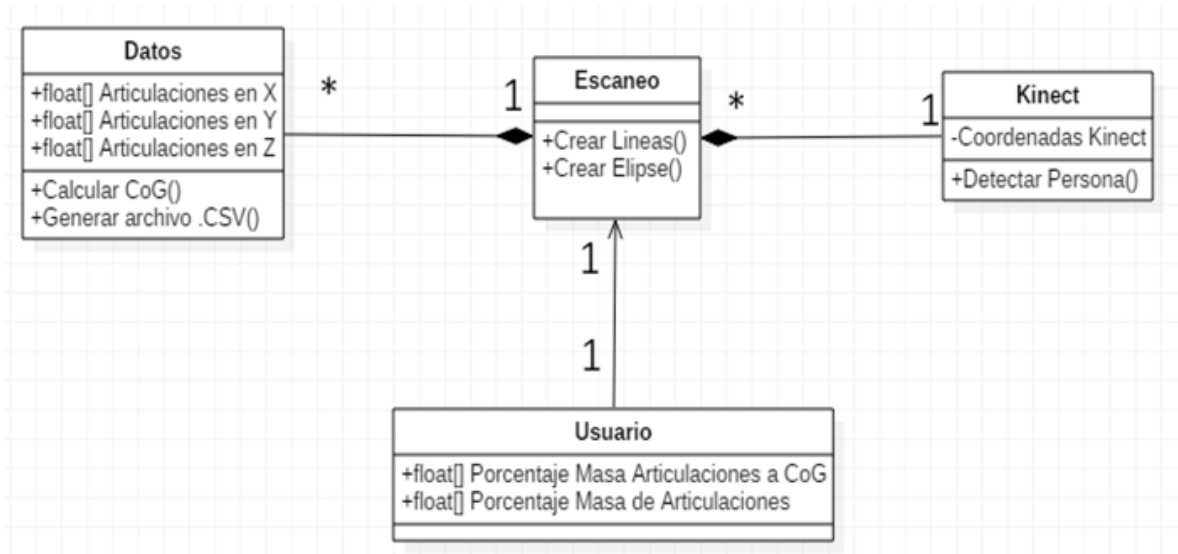


Figura 4.14: Diagrama UML de clase para el sistema. Fuente: Propia

Diagrama de secuencia para el Usuario-Interacción con el sistema.

El usuario se posiciona en fase de bipedestación frente al dispositivo Kinect, el administrador inicializa el dispositivo Kinect y este procede a ser reconocido, a continuación empieza a capturar los datos, esto dura alrededor de 10 segundos, una vez termina con la captura de datos se envían al control del sistema, este los procesa y genera un archivo .CSV, el cual permite ser manejado y tratado para ser analizado.

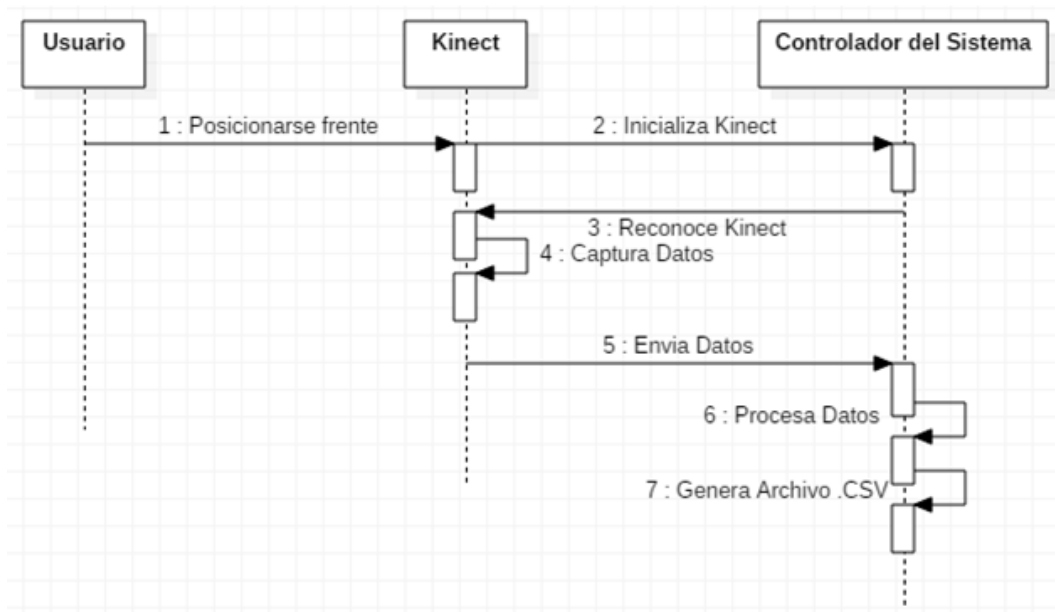


Figura 4.15: Diagrama UML de secuencia para el usuario. Fuente: Propia

Diagrama de secuencia para el Administrador-Generar datos.

El administrador corre el programa y se despliega la interfaz de usuario en donde se encuentra el botón para inicializar la captura de datos, seguidamente se activan los sensores y el dispositivo Kinect empieza a capturar datos, este envía los datos al controlador del sistema, el cual los recibe y los procesa; finalmente procede a generar un archivo .CSV, el cual el administrador lo nombra según sea el caso y se da por finalizada la captura de datos.

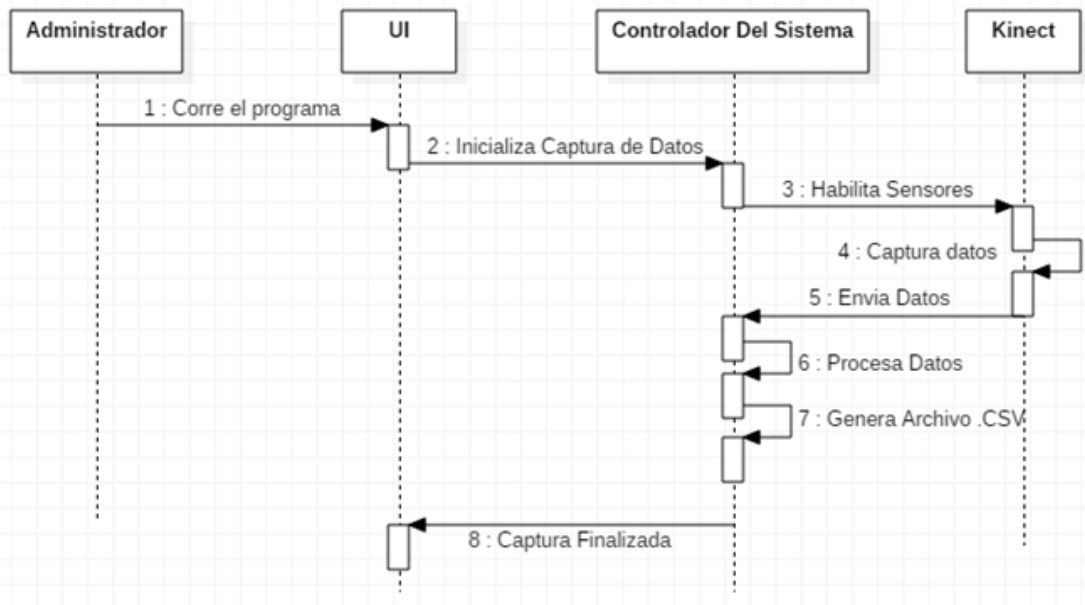


Figura 4.16: Diagrama UML de secuencia para el administrador. Fuente: Propia

El mismo proceso se realiza para los cuatro tipos de posiciones, las tres frecuencias y las tres intensidades, cada una con duración de 10 s; lo que significa que se obtienen 36 tomas diferentes con una duración total de 360 s (6 min), en las cuales se varían condiciones diferentes de luz para cada toma.

En la tabla 4.2, se presenta el resumen que se lleva a cabo dentro del cuarto de pruebas y el número de toma de datos correspondiente a cada condición de luz, incluyendo la mencionada anteriormente (Toma 2).

Tabla 4.2: Proceso de captura de datos.

Toma de datos	Intensidad	Frecuencia	Iluminación
1	Alta	F1	I1
2	Media		
3	baja		
4	Alta	F2	
5	Media		
6	Baja		
7	Alta	F3	
8	Media		
9	Baja		
10	Alta	F1	I2
11	Media		
12	Baja		
13	Alta	F2	
14	Media		
15	Baja		
16	Alta	F3	
17	Media		
18	Baja		
19	Alta	F1	I3
20	Media		
21	Baja		
22	Alta	F2	
23	Media		
24	Baja		
25	Alta	F3	
26	Media		
27	Baja		
28	Alta	F1	I4
29	Media		
30	Baja		
31	Alta	F2	
32	Media		
33	Baja		
34	Alta	F3	
35	Media		
36	Baja		

Como el proceso se realiza para 5 participantes diferentes, en total el número de tomas son 180 (36 x 5), número suficiente para realizar un análisis estadístico y concluir

cual podría ser la mejor condición lumínica para el Kinect.

Finalmente los datos son exportados al software MatLab, en donde se someten a un estudio estadístico, con el objetivo de observar la influencia de los factores variables en la precisión del dispositivo Kinect.

Capítulo 5

Análisis de resultados

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de la estimación en la posición del CoG en los distintos escenarios que se presentaron en la sección **Protocolo de toma de datos** del capítulo 3 y sus respectivos análisis a partir de los resultados que se mostrarán en las próximas Tablas.

En primer lugar se hizo un análisis de Lilliefors de cada una de las series de datos que se obtuvieron, el objetivo de esta prueba es determinar si las variaciones en las medidas se ajustan a la curva normal [79]. La conclusión de esta prueba es que al menos en el 97 % de las series de datos no provienen de una distribución normal. Para comprobar este resultado fue utilizado el análisis de Kolmogorov-Smirnov en el cual el resultado afirma que el 100 % de las series de datos no provienen de una distribución normal. Es de resaltar que en ambos casos las series de datos que describen la posición del COG son no normales, es por esta razón que se ha utilizado más de un estadístico descriptivo (desviación estándar o varianza). Para realizar este análisis mediante la estadística descriptiva es necesario cumplir con:

- Recolección de los datos.
- Organización de los datos en tablas.
- Interpretación de estos datos mediante gráficos estadísticos.

5.1. Proceso para el análisis de resultados

Con la intención de almacenar de manera comprensible los resultados de los cálculos estadísticos, se optó por la construcción de Tablas para cada una de las sesiones. Antes de registrar la captura de datos, se automatizó el sistema para que se almacenaran en

una carpeta en el PC, seguidamente se exportaron estos datos en hojas de cálculo de Excel, las cuales permiten imprimirlos en tablas, manipularlos y realizar operaciones entre ellos. Por último se importaron los datos de Excel al programa Matlab 2014^a, el cual permite realizar una interpretación gráfica de la estadística descriptiva (Figura.5.1). Con los resultados y las gráficas se llevó a cabo el análisis para cada sujeto de estudio, para éste fin se tomaron los parámetros de desviación estándar, distancia intercuartílica o rango intercuartílico(a partir se ahora se denotará como IQR por sus siglas en inglés Inter-Quartile Range) y la cantidad de datos atípicos como medidas de variabilidad; para obtener dichos parámetros fue necesario calcular también los cuartiles Q_1 , Q_2 y Q_3 para cada uno de los registros. A excepción de la desviación estándar los parámetros se pueden observar gráficamente en el diagrama de caja y bigotes 5.1.

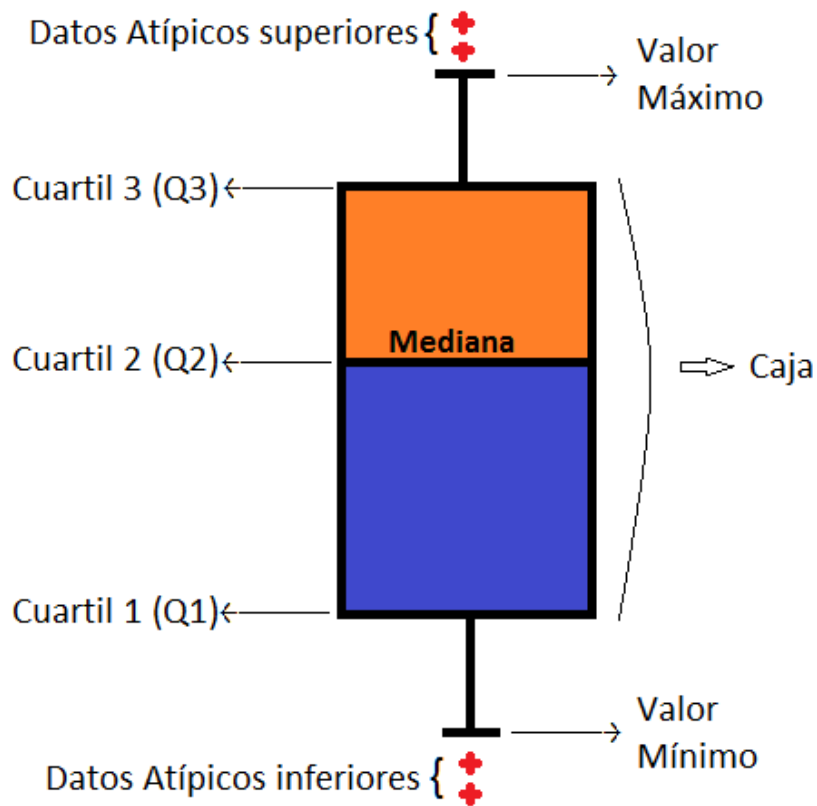


Figura 5.1: Gráfica de caja y bigotes para el análisis estadístico. Fuente: Propia

El gráfico mostrado en la Figura 5.1 corresponde al diagrama de caja y bigotes. En éste, se puede observar los tres primeros cuartiles (primer cuartil, Q_1 , representado por la línea inferior de la caja, el segundo cuartil, Q_2 , es igual a la mediana de la muestra simbolizándose con la línea central, el tercer cuartil, Q_3 se representa con la

línea superior de la caja), los datos atípicos (representados por las cruces rojas)¹, el límite superior, L_s e inferior L_i que se representan por las líneas continuas de color negro; las cuales son paralelas a las líneas que simbolizan a los cuartiles 1 y 3 en la caja.

En el diagrama de caja y bigotes (5.1), es posible determinar varios parámetros para un análisis estadístico; entre estos están:

El Rango Intercuartilico (IQR) calculado como la diferencia entre el tercer cuartil (Q3) y el primer cuartil (Q1), Ecuación (5.1), además cabe resaltar que el IQR no es sensible a los datos atípicos, es decir que no lo afectan, el concepto de datos atípicos se explicará más adelante.

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (5.1)$$

El Rango Total (RT), calculado como la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de la serie de datos, incluye los datos atípicos.

Los Datos Atípicos (DA) son observaciones numéricas que se encuentran distantes del resto de los datos, para este caso por fuera de los bigotes (Límites superior² e inferior³). Para los sensores u otros instrumentos de medición, los valores o datos atípicos se consideran como cambios abruptos que sufren bajo ciertas condiciones. Un dato atípico es aquel que cumple cualquiera de las condiciones dadas por las Ecuaciones 5.2 o 5.3

$$VA_s > Q_3 + 1,5IQR \quad (5.2)$$

$$VA_i < Q_1 - 1,5IQR \quad (5.3)$$

El nombre se debe a que pueden existir datos lo suficientemente lejanos como para considerarlos que no pertenecen al conjunto, el número de estos son una medida de probabilidad de que ocurra un dato afectado por el mal funcionamiento del sensor, de manera que entre mayor número de datos atípicos, menor es la fiabilidad del sistema, para una medición dada.

Otra medida que se utiliza dentro de este trabajo de investigación es la Desviación estándar, no visible en la gráfica de caja y bigotes, es un parámetro que mide la dispersión de los datos, la cual entrega información acerca de la fiabilidad del conjunto.

Desde el punto de vista estadístico, un sensor de medición debe tener las siguientes cualidades: (i) un valor esperado tendiente al valor de la medición, (ii) una DE, un

¹A manera de ilustración se puede decir que en en la Figura 5.1 existen tres datos atípicos, dos superiores y uno inferior.

²Estos datos atípicos se conocerán como datos atípicos superiores VA_s

³Estos datos atípicos se conocerán como datos atípicos inferiores VA_i

RT, un IQR, y un número de VA tendientes a cero. La primera condición garantiza la validez del instrumento de medida mientras que la segunda determina la fiabilidad del medidor. Resolver el problema de validez requiere de laboratorios metrológicos que generen los patrones de medida para realizar la comparación de estos con las medidas obtenidas del instrumento, mientras que observar la fiabilidad requiere de un proceso de experimentación riguroso. Es por estas dos razones que la pregunta de investigación está orientada hacia la fiabilidad de la toma.

Todos los parámetros anteriores serán registrados en tablas que se mostraran a continuación, con la intención de facilitar el análisis estadístico para cada uno de los participantes, variando las características de iluminación mencionadas en la sección 4.2.1 y para cada una de las coordenadas (X, Y, Z). Al final se realiza una Tabla multicriterio (ver 5.9) en la cual se exponen las puntuaciones arrojadas por cada uno, dichas puntuaciones reflejan cada uno de los parámetros de la estadística descriptiva y que permite llegar a una conclusión.

5.1.1. Análisis de datos para participante humano

A continuación se registran los valores mas representativos del diagrama de caja y bigotes. En primer lugar se hace el análisis del participante 1, del cual se obtuvo los siguientes resultados de los IQR tanto del CoG, como de las articulaciones; los resultados para este y el resto de participantes se registran en tablas similares a la 5.1.

IQR

Tabla 5.1: Datos del IQR obtenidos para el CoG.

Color	RIC		
	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Coordenada Z (m)
Azul	0,0051	0,0029	0,0092
Rojo	0,0039	0,0034	0,0059
Verde	0,004	0,0025	0,0059

En la Tabla 5.1 se aprecian 4 columnas: la primera, a la izquierda, indica el color de luz usada, en las otras tres aparecen los valores del IQR de cada una de las coordenadas. Si el valor del IQR es pequeño, significa que existe una mayor concentración de datos; gráficamente sería la caja que presente menor tamaño.

En este caso la Tabla 5.1 representa los resultados tomados al CoG para los 3 colores de luz, a intensidad baja y en la primera posición de las fuentes (I1), en el

segundo sujeto (P2). Los valores no permiten deducir con certeza cuál sería el mejor color de iluminación debido a que en cada coordenada los resultados del menor IQR varían, en este caso la coordenada X presenta menor valor en la iluminación roja, pero es mayor en la coordenada Y; al igual que los otros colores de iluminación, quienes no presentan valores menores en las 3 coordenadas para asegurar cual correspondería al mejor color; debido a esto se espera la información con los resultados de las siguientes tablas.

Es importante aclarar antes de continuar con el análisis del IQR, que en la Tabla 5.2, se han registrado los promedios de los IQR que se obtienen de las 20 articulaciones del participante para cada coordenada. El propósito de este promedio es facilitar la comparación de 20 valores obtenidos de las articulaciones de un color de iluminación, respecto a 20 de los otros colores.

Tabla 5.2: Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.

Color	Promedio de datos IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,0062625	0,05125	0,0144325
Rojo	0,00477	0,054125	0,0104875
Verde	0,005185	0,03445	0,0104875

Según los promedios, los resultados del menor IQR varían para cada color en las diferentes coordenadas, lo cual no permite aclarar o complementar el análisis anterior que se hacía respecto al CoG.

Rango total (RT)

Los valores del RT se registran en una tabla similar a la 5.1, en ella se aprecian 4 columnas: la primera, a la izquierda, indica el rango de frecuencia de luz visible usada, en las otras tres aparecen los valores del RT de cada una de las coordenadas, a diferencia del IQR, este rango permite observar la distribución de los datos desde el límite inferior hasta el límite superior del diagrama de caja y bigotes (Figura. 5.1), aquí se encuentra el 100% de los datos ya que esta contenidos los 3 cuartiles. Si se comparan los valores entre varios RT de diferentes medidas, el que muestre el menor valor indica la mayor fiabilidad, debido a que los datos estarían más agrupados; gráficamente al realizar la comparación entre varios diagramas de caja y bigotes, la mejor opción correspondería al de menor tamaño.

Tabla 5.3: Datos obtenidos del RT para CoG.

Color	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,012	0,0119	0,0322
Rojo	0,0168	0,0116	0,0278
Verde	0,0108	0,0112	0,0313

En la Tabla 5.3, se puede ver que en 2 de las 3 coordenadas el color de luz verde presenta los menores valores de RT, lo cual por mayoría, se podría decir que corresponde a la mejor condición de luz. También se puede observar que en este caso, la luz de color azul presenta un mayor RT en 2 de las 3 coordenadas, y por ende se consideraría como el peor color de luz para trabajar con el Kinect. Para verificar esta información, se observa los valores promedio de los RT de las 20 articulaciones, con el objetivo de corroborar la afirmación de la tabla anterior (5.3).

El análisis de los resultados obtenidos de los RT de las 20 articulaciones, pueden complementar las conclusiones obtenidas en cuanto al mejor color de luz. Para eso se registraron los promedios en la Tabla 5.4, tal y como se hizo en la sección 5.1.1, debido a que el promedio es el mejor representante en una serie de datos.

Tabla 5.4: Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.

Color	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,019345	0,03804	0,044205
Rojo	0,019985	0,03781	0,042615
Verde	0,015255	0,01872	0,03405

Los datos de la Tabla 5.4 permiten deducir que el color verde presenta las mejores condiciones para el Kinect en las 20 articulaciones, debido a que en las 3 coordenadas el valor de los promedios del RT es más pequeño que en las otras iluminaciones. Además con la información de la tabla 5.3, se puede verificar que la luz de color azul correspondería al peor color de iluminación, debido a que supera en la mayoría de las coordenadas a la luz de color rojo, lo que conduce a esta afirmación.

Datos atípicos (DA)

El número de estos datos tanto superiores como inferiores en el CoG y articulaciones obtenidos por cada color se registran en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5: Número de DA obtenidos por cada color de luz en el CoG y todas las articulaciones.

Color	Coordenada X		Coordenada Y		Coordenada Z	
	CoG	Art.	CoG	Art.	CoG	Art.
Azul	0	434	54	2532	94	1000
Rojo	300	3337	0	5069	149	763
Verde	0	264	2	1066	149	763

La Tabla 5.5 muestra la cantidad de DA para las diferentes coordenadas en las 3 iluminaciones, tanto para el CoG como para las 20 articulaciones. Se observa que la iluminación de color Rojo sobrepasa en gran medida a las otras y que la iluminación de color verde es la que menor cantidad de DA presenta hablando en términos generales, tanto para el CoG como para las articulaciones. Gracias a estos valores es posible deducir que el color verde presenta la mejor condición de iluminación para el dispositivo Kinect, afirmación que refuerza la afirmación obtenida del RT en articulaciones.

Desviación estándar

Siguiendo con la estadística descriptiva para el análisis de resultados, ahora se hace uso de la Desviación Estándar (a partir de ahora D.E.), la cual permite observar la variabilidad de los datos respecto a la media. Con la DE se espera destacar el color de iluminación que produce los datos mas concentrados sobre un punto sobre el resto de colores, los valores más pequeños de la DE en X, Y y Z, indican la mejor condición de luz para trabajar con el Kinect, debido a que la fiabilidad sería mayor.

En las Tablas 5.6, 5.7 y 5.8 se muestran los resultados de las Desviaciones Estándar (DE) en la coordenada X, Y y Z respectivamente, para el CoG y para las articulaciones. Como en los casos anteriores se saca un promedio de los valores de las DE de las 20 articulaciones para hacer una comparación más fácil con los otros resultados.

Tabla 5.6: Resultados de D.E. en la coordenada X.

Color	Promedio de D.E. para las art.(m)	D.E. para el CoG (m).
Azul	0,00381437	0,00302154
Rojo	0,00393252	0,00368999
Verde	0,00328731	0,00255262

Tabla 5.7: Resultados de DE en la coordenada Y.

Color	Promedio de D.E. para las art.(m)	D.E. para el CoG (m).
Azul	0,00499093	0,00219461
Rojo	0,00504235	0,0021356
Verde	0,00265442	0,00149293

Tabla 5.8: Resultados de D.E. en la coordenada Z.

Color	Promedio de D.E. para las art.(m)	D.E. para el CoG (m).
Azul	0,01009804	0,00738052
Rojo	0,00851683	0,00590049
Verde	0,00696633	0,00548943

Observando las tablas de cada coordenada, se puede notar que la luz de color verde entrega los valores de D.E. mas pequeños, tanto para el CoG como para las articulaciones, se esperaban estos resultados teniendo en cuenta la información entregada por los cuadros de RT y DA; por otro lado el color de luz azul y rojo muestran resultados con los que no se puede elegir cual sería el peor color, ya que en la coordenada X el color rojo entrega valores de DE mas altos, en la coordenada Y el rojo es mayor para el CoG y el azul para el promedio de las articulaciones; en la coordenada Z el color de luz azul presenta la mayor DE. Con esta información no se puede deducir que color de luz es menos favorable para el Kinect. Para poder elegir el peor color de iluminación ya que los resultados en este caso no son muy claros, se debe tener en cuenta los resultados anteriores entregados por los diagramas de cajas y bigotes, para eso se ha diseñado una tabla como la 5.18, en donde se registra una calificación con puntos al mejor color de luz obtenido en cada parámetro, tanto del diagrama de caja y bigotes como de la D.E.

Tabla Multicriterio

En la Tabla 5.9 se observan 4 columnas principales; en la primera se identifica la condición de luz bajo la que se llevó a cabo la captura de datos, en este caso por variación de color de luz; en la segunda se aprecia el parámetro CoG, en donde se asignan las puntuaciones entregadas por cada tabla; el mismo caso se tiene para la tercera columna pero para las articulaciones y finalmente en la cuarta columna se realiza una sumatoria de todas las puntuaciones por condición de luz. El objetivo de la Tabla 5.9, es que por medio de mayoría de puntos se obtenga una conclusión más contundente de la que podría ser la condición de luz que presenta menor o mayor alteración ante la captura de datos del Kinect.

Las puntuaciones que se asignan a cada casilla son obtenidas de la siguiente manera: en las Tablas 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 y las de D.E., se observa que para cada articulación y CoG existen 3 coordenadas (X, Y, Z), para cada una de estas coordenadas se analiza cual es la mejor condición de luz, que como se sabe corresponde al menor valor registrado y a esa condición se le da una puntuación de 3 unidades, en el caso de la peor condición (menor valor) se le da puntuación de 1 unidad y para la condición media la puntuación es 2 unidades (esto se hace para cada coordenada); en caso de existir empate el puntaje se reparte, dándole 2 puntos a ambas. Estas puntuaciones se van acumulando en la Tabla Multicriterio (5.9) en la casilla respectiva y se van sumando hasta registrar las puntuaciones de todas las Tablas. Por cada coordenada (x,y,z) se obtiene puntos y los parámetros analizados fueron :

- Rango Intercuartilico
- Rango Total
- Datos atípicos
- Desviación estándar

La calificación se realizó tanto para el análisis del CoG como para las 20 articulaciones. Al final, la sumatoria que obtenga el mayor resultado indica el color de luz que muestra mayor favorabilidad en la captura de datos para el Kinect.

Tabla 5.9: Puntajes obtenido para el Participante 1.

Color	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
Azul	4	4	6	4	5	4	5	5	37
Rojo	6	6	5	5	6	5	4	2	39
Verde	7	8	5	9	6	9	8	9	61

En este caso se ha analizado la iluminación por color; por lo tanto en la primera columna se registran los 3 tonos de luz trabajados. En la columna IQR del CoG están representados los puntajes obtenidos de las coordenadas X, Y, Z de la Tabla 5.10, en la que se puede ver que el color azul presenta peores resultados en las coordenada X y Z por presentar mayores valores respecto a los otros colores, a estas coordenadas se les da la peor puntuación a cada una (1 unidad); la coordenada Y presenta un valor intermedio entre los otros dos colores, a la cual se le da una puntuación de 2 unidades, esta puntuación más las 2 obtenidas de X y Z suman 4; es por eso que en la primera casilla de la tabla 5.9 aparece el numero 4.

El color de luz roja presenta el menor valor en la coordenada X (3 unidades), el valor más alto en Y (1 unidad) y comparte como el menor valor con la luz de color verde en la coordenada Z. En los casos de empate se reparte el puntaje y se les da una calificación de 2 unidades a cada color, si son los mejores valores; pero si existe empate siendo los peores valores se les asigna 1 unidad a cada color. En este caso se reparte el puntaje, ya que existe empate en la coordenada Z entre los colores Rojo y Verde; al desconocer cual es el mejor color entre ellos solo se les da 2 unidades a ambos. De este modo se suman los puntajes obtenidos por coordenada, la suma indica que son 6 unidades que obtiene el color de luz roja en el parámetro IQR, 3 en la coordenada X, 1 en la coordenada Y y 2 en la coordenada Z; este valor se lo registra en la segunda casilla de la columna IQR de la tabla 5.9. Finalmente al color de luz verde se le da una puntuación de 2 en la coordenada X por ser el valor intermedio, 3 en Y por presentar el menor IQR y 2 en Z por ser el menor valor pero presenta empate con el color de luz roja, la suma registra una puntuación de 7 en este color para la tabla 5.9.

El mismo proceso se lo realiza para calificar el color de iluminación en los otros parámetros, como se puede apreciar en la tabla 5.9, existen columnas para registrar las puntuaciones obtenidas del RT, DA y D.E., tanto para el CoG como para las articulaciones. Con la suma total obtenida finalmente de todos los parámetros, se puede obtener una conclusión más general que conlleve a mostrar cual es el mejor color de iluminación. En este caso es notable que la iluminación de color verde supera por mucho a las iluminaciones roja y azul; por otro lado, para decidir quién se lleva la peor calificación, se observa que la luz de color azul obtiene un puntaje más bajo pero no lo suficientemente amplio como para asegurar con certeza que es el peor, por lo que se espera que con los demás análisis se obtenga una conclusión más específica.

Del mismo modo el análisis se lo hace para los participantes 2, 3 y 4. En los anexos se encuentran las Tablas de IQR, RT, DA y DE que corresponden a los sujetos de 1,69 m, 1,64 m y la mujer (1,59 m) respectivamente. Del mismo modo se obtienen las Tablas para el participante 5 correspondientes al maniquí, las cuales se muestran a continuación, este es un caso especial de participante por no presentar movimientos, ya que se trata de un objeto. El método de análisis y las tablas son similares a las del participante 1, de esta forma se obtienen los siguientes resultados.

5.1.2. Análisis de datos para el participante referencia

A continuación se registran los valores mas representativos del diagrama de caja y bigotes para el maniquí (participante referencia), del cual se obtuvo los siguientes resultados de los IQR, tanto del CoG como de las articulaciones; los resultados se registran en la tabla 5.10.

IQR

Tabla 5.10: Datos del IQR obtenidos para el CoG.

Color	IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,0022	0,00835	0,0036
Rojo	0,0014	0,00775	0,0032
Verde	0,0019	0,00855	0,0032

En este caso la Tabla 5.10 representa los resultados tomados al CoG para las 3 frecuencias, en el participante 5 (maniquí). Los valores permiten observar que las 3 coordenadas presentan los menores IQR en el color de iluminación roja; existe un empate en la coordenada Z entre la iluminación roja y verde, pero en las coordenadas X e Y la diferencia es muy notable como para considerar que la mejor iluminación según el IQR es la roja.

Para continuar con el análisis del IQR en los diferentes colores de iluminación, en la Tabla 5.11, se han registrado los promedios de los IQR que se obtienen de las 20 articulaciones del participante para cada coordenada, al igual que en 5.2.

Tabla 5.11: Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.

Color	Promedio de datos IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,0037125	0,013825	0,0045625
Rojo	0,0032925	0,01259	0,0041875
Verde	0,00357	0,0137925	0,0041875

Se muestra un caso similar a los resultados de la anterior tabla (5.10), en donde se puede notar la diferencia de los valores que presenta la iluminación roja respecto a las otras. Estos resultados permiten complementar la información anterior, mostrando que la iluminación roja entrega los valores mas pequeños del IQR respecto a la iluminación azul y verde, tanto de CoG como de articulaciones.

Rango total

Tabla 5.12: Datos obtenidos del RT para CoG.

Color	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,0038	0,0262	0,0053
Rojo	0,0043	0,0247	0,0046
Verde	0,0041	0,028	0,0062

En la tabla 5.12, se observa que el menor valor de RT en la coordenada X lo entrega el color Azul y el mayor valor el color Rojo; para la coordenada (Y), el menor valor de IQR lo entrega el color Rojo y el mayor el color Verde; para la coordenada (Z) el color Rojo presenta el menor valor y el color verde arroja el mayor valor de RT. Se puede apreciar que por mayoría, la luz roja presenta los mejores valores de RT, mientras que la Verde sería la peor.

Ahora se observa los valores promedio de los RT de las 20 articulaciones, con el objetivo de corroborar la afirmación de la tabla anterior (A.3). El análisis de los resultados obtenidos de los RT de las 20 articulaciones, pueden complementar las conclusiones obtenidas en cuanto al mejor color de luz. Para eso se registraron los promedios en la Tabla 5.13, tal y como se hizo en la sección 5.1.1.

Tabla 5.13: Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.

Color	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,01766	0,052375	0,02159
Rojo	0,02027	0,05457	0,02101
Verde	0,016545	0,05337	0,022455

Los resultados de los promedios del RT de las 20 articulaciones mostrados en la tabla 5.13 son muy variables, no muestran una inclinación hacia un color de luz favorable en los que el RT sea menor en las 3 o, por lo menos, en 2 coordenadas, por lo contrario, contradicen la información obtenida de la tabla 5.12; ya que la luz de color rojo presenta un RT mayor en dos de las 3 coordenadas, lo que hace suponer que este color de luz presenta condiciones desfavorables para el Kinect, ya que los datos generados estarían mas dispersos. Una afirmación muy contraria a la mostrada en la tabla 5.12, en la que muestra que la luz de color rojo es la mejor.

Datos atípicos

El número de estos datos tanto superiores como inferiores en el CoG y articulaciones obtenidos por cada color se registran en la Tabla 5.14.

Tabla 5.14: Número de DA obtenidos por cada color de luz en el CoG y todas las articulaciones.

Color	Coordenada X		Coordenada Y		Coordenada Z	
	CoG	Art.	CoG	Art.	CoG	Art.
Azul	0	2792	0	1812	6	4553
Rojo	0	2375	216	1201	6	3532
Verde	0	2449	14	1738	336	4654

La Tabla 5.14 muestra la cantidad de DA para las diferentes coordenadas en los 3 colores de luz, tanto para el CoG como para las 20 articulaciones. Se puede observar una gran cantidad de DA en los tres colores, mostrando una menor cantidad la luz roja respecto a la verde y la azul, quien presenta la mayor cantidad. La iluminación roja al parecer sigue mostrando favorabilidad frente a las otras.

Desviación estándar

En las Tablas 5.15, 5.16 y 5.17 se muestran los resultados de las Desviaciones Estándar (DE) en la coordenada X, Y y Z respectivamente, para el CoG y para las articulaciones. Como en los casos anteriores se saca un promedio de los valores de las DE de las 20 articulaciones para hacer una comparación más fácil con los otros resultados.

Tabla 5.15: Resultados de D.E. en la coordenada X.

Color	Promedio D.E. de datos de art. (m)	D.E. de datos del CoG (m).
Azul	0,00296948	0,00115152
Rojo	0,00348309	0,00102345
Verde	0,0027434	0,00103173

Tabla 5.16: Resultados de DE en la coordenada Y.

Color	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Azul	0,01461418	0,00877147
Rojo	0,01400848	0,00742179
Verde	0,01495846	0,00920222

Tabla 5.17: Resultados de D.E. en la coordenada Z.

Color	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Azul	0,00294597	0,00176643
Rojo	0,00258722	0,00151515
Verde	0,00300879	0,00172579

Observando las tablas de cada coordenada, se puede notar que la luz de color rojo entrega los valores de DE mas pequeños, a excepción de la coordenada X del CoG en donde el valor es mayor; por otro lado el color de luz azul y verde entregan resultados con los que no se puede elegir cual sería el peor color, ya que en la coordenada X el color azul entrega valores de DE mas altos, en la coordenada Y es el verde y en la coordenada Z los resultados son parejos. Con esta información se puede considerar que la luz de color rojo es mas favorable para el Kinect, en comparación con la luz azul y verde. Para poder elegir el peor color de iluminación ya que los resultados en este caso no son muy claros, se debe tener en cuenta los resultados anteriores entregados por los diagramas de cajas y bigotes, para eso se ha diseñado una tabla como la 5.18, en donde se registra una calificación con puntos al mejor color de luz obtenido en cada parámetro, tanto del diagrama de caja y bigotes como de la D.E.

A modo de resumen, también se procedió a realizar la Tabla Multicriterio (ver Tabla 5.9) para el participante 5, con el fin de facilitar el análisis.

Tabla Multicriterio

La calificación se realizó tanto para el análisis del CoG como para las 20 articulaciones. Al final, la sumatoria que obtenga el mayor resultado indica el color de luz que muestra mayor favorabilidad en la captura de datos del Kinect para el participante 5.

Tabla 5.18: Tablas multicriterio para el Participante 5.

Color	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
Azul	4	7	7	4	3	7	4	6	42
Rojo	8	7	5	9	8	4	9	7	57
Verde	5	4	5	5	6	6	5	5	41

En este caso se ha analizado la iluminación por color para el participante 5; por lo tanto en la primera columna se registran los 3 tonos de luz trabajados. En la columna IQR del CoG están representados los puntajes obtenidos de las coordenadas X, Y, Z de la Tabla 5.10 pertenecientes al participante 5, en la que se puede ver que el color azul presenta peores resultados en las coordenada X y Z por presentar mayores valores respecto a los otros colores, a estas coordenadas se les da la peor puntuación a cada una (1 unidad); la coordenada Y presenta un valor intermedio entre los otros dos colores, a la cual se le da una puntuación de 2 unidades, esta puntuación más las 2 obtenidas de X y Z suman 4; es por eso que en la primera casilla de la tabla 5.18 aparece el numero 4.

El color de luz roja presenta mejores resultados en las coordenadas X (3 unidades) e Y (3 unidades) por mostrar los menores valores; en la coordenada Z comparte el menor valor con la luz de color verde. En los casos de empate se reparte el puntaje y se les da una calificación de 2 unidades a cada color, si son los mejores valores; pero si existe empate siendo los peores valores se les asigna 1 unidad a cada color. En este caso existe empate en la coordenada Z, en los colores Rojo y Verde; al desconocer cual es el mejor color entre ellos, solo se les da 2 unidades a ambos. De este modo se suman los puntajes obtenido por coordenada, son 8 unidades que obtiene el color de luz roja en el parámetro IQR, 3 en la coordenada X, 3 en la Y y 2 en la Z, este valor se lo registra en la segunda casilla de la columna IQR de la tabla 5.18. Finalmente al color de luz verde se le da una puntuación de 2 en la coordenada X por ser el valor intermedio, 1 en Y por presentar el mayor IQR y 2 en Z por ser el menor valor junto con el color de luz roja, la suma registra una puntuación de 5 en este color, en la tercera casilla de la columna IQR en la tabla 5.18.

El mismo proceso se lo realiza para calificar el color de iluminación en los otros parámetros, como se puede apreciar en la tabla 5.18, existen columnas para registra las puntuaciones obtenidas del RT, DA y D.E., tanto para el CoG como para las articulaciones. Con la suma total obtenida finalmente de todos los parámetros, se puede obtener una conclusión más general que conlleve a mostrar cual es el mejor color de iluminación. En este caso es notable que la iluminación de color roja supera por mucho a las iluminaciones verde y azul; por otro lado, para decidir quién se lleva la peor calificación, se observa que la luz de color verde obtiene un punto menos que la azul, un

punto no sería suficiente como para asegurar con certeza que es el peor debido a que la diferencia es mínima, por lo que se debe tener en cuenta los resultados de los demás participantes para obtener una conclusión más específica.

El proceso para la obtención de las Tablas multicriterio para los participantes 2, 3 y 4 fue el mismo. Sus respectivas Tablas aparecen en la siguiente sección.

5.2. Resultados para el resto de participantes

5.2.1. Por color de luz

Tabla 5.19: Puntaje obtenido para el participante 2.

Color	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
Azul	7	9	6	8	8	8	4	9	59
Rojo	4	3	5	3	3	3	8	3	32
Verde	6	6	6	7	6	7	5	6	49

Para el participante 2, el color de luz que presenta los mejores resultados es el Azul, de la Tabla 5.19 se observa que este color presenta mayor puntuación en el análisis del CoG y en las articulaciones. La diferencia de puntuación no es tan marcada como la obtenida en el caso del participante número 1 (5.9), debido a que la diferencia del color Azul con el color Verde es de tan solo 10 puntos y con el color rojo de 27 puntos. La peor calificación se la lleva la iluminación roja, se puede ver que el puntaje está muy por debajo en relación a los otros colores.

Tabla 5.20: Puntaje obtenido para el participante 3.

Color	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
Azul	6	6	9	2	5	7	7	2	53
Rojo	4	5	5	1	3	4	5	1	33
Verde	7	7	6	3	9	7	5	3	57

Para este caso de estudio el color que representa las mejores condiciones para el Kinect es el color verde, de la Tabla 5.20 se puede observar que los puntajes más altos están en la mayoría de los parámetros del color verde, solo presenta incoherencia el puntaje de los DA, en donde el color azul obtuvo la mejor calificación. Si bien, el color verde presenta mayor número de DA, pero los parámetros RT, IQR y DE muestran

que las mejores condiciones para trabajar con el Kinect tanto del CoG como de las articulaciones las presenta el color Verde. El peor puntaje lo registra la iluminación de color rojo, la diferencia respecto a los otros colores es muy marcada y teniendo en cuenta el resultado del participante 1, se puede asumir que este es el peor color para la captura de datos con el Kinect.

Tabla 5.21: Puntaje obtenido para el participante 4.

Color	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
Azul	5	4	6	4	4	4	5	5	37
Rojo	6	6	5	5	5	5	4	4	40
Verde	7	8	5	9	8	9	8	9	63

En este caso de estudio (Tabla 5.21), el color que presenta mayor puntaje es el color verde, con una diferencia de 23 puntos con el color rojo y de 26 puntos con el color azul. Como en el caso del participante 1 la puntuación es muy alta respecto a los otros colores, todos los parámetros de la estadística descriptiva mostraron ser mejores, como para asegurar que la luz de color verde es la adecuada para el dispositivo Kinect. En este caso como en el del participante 1, los puntajes de color azul y rojo son casi , lo que no permite decidir de manera específica cual sería el peor color.

Para finalizar con el análisis estadístico por color y a modo de resumen, se puede ver que de los 5 participantes 3 presentan buenos resultados para el color verde; 1 presenta buenos resultados para el color azul y 1 para el color rojo. El color de iluminación que presenta las peores condiciones esta entre el rojo y el azul debido a que en 2 de las 5 tablas presentan puntajes mas bajos. Se debe tener en cuenta que el participante numero 1 corresponde a un maniquí, el cual no presentaba movimiento alguno y las alteraciones que se generan durante la captura de datos del Kinect corresponderían con mayor seguridad a los factores de luz dentro del cuarto; a diferencia del resto de participantes, los cuales los movimientos involuntarios, por mínimos que sean, en algún instante afectan la captura de datos y no se garantiza que sean producidos por las condiciones de iluminación, por lo que se tomara como referencia y comparación los resultados obtenidos por el participante 1, correspondiente al maniquí.

5.2.2. Por intensidad de luz

De igual forma, los resultados para el análisis estadístico de la variación de intensidad de luz se registran en Tablas similares a los del apartado anterior 5.2.1, en donde se obtienen valores que determinan la mejor, media y peor condición de intensidad lumínica; igualmente se realizan las Tablas Multicriterio que ayudan a concretar conclusiones.

El proceso de calificación y asignación de puntajes a los parámetros es el mismo que el usado en la sección anterior 5.2.1. Las Tablas Multicriterio de los 5 participantes son los siguientes.

Tabla 5.22: Puntaje obtenido para el participante 1.

Intensidad	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
Alta	5	6	5	5	7	5	5	7	40
Media	6	7	7	7	6	7	8	7	55
Baja	7	5	4	6	5	6	6	5	44

En la Tabla 5.22 se observa que la intensidad con mayor puntaje es la Media, significa que este escenario ofrece una buena condición de iluminación para el Kinect, con una diferencia notable sobre las demás. Mirando las puntuaciones de las intensidades Alta y Baja se puede decir que tienen valores cercanos, siendo escasamente menor el valor de la luz con intensidad alta, lo que indica ser la peor intensidad, los resultados para cada parámetro indican que en algunos la intensidad Alta es mejor que la Baja (como lo son IQR y D.E.) y en otros se ve que la Baja es mejor (RT y D. Atípicos), por eso es necesario de mas resultados para deducir cual podría ser la peor intensidad lumínica.

Tabla 5.23: Puntaje obtenido para el participante 2.

Intensidad	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
Alta	5	7	6	6	4	5	7	4	44
Media	7	7	7	7	6	6	6	7	53
Baja	6	4	4	5	8	7	5	7	46

En la Tabla 5.23 se observa a la intensidad Media brindando las mejores condiciones para el Kinect, debido a que los puntajes obtenidos en los diferentes parámetros para este color en su mayoría son más altos, la diferencia del puntaje total respecto a las otras es notable. La de peor condición podría ser la baja, pero como en el caso anterior del participante 1, este puntaje es casi parejo con el de la intensidad Baja, lo que no permite asegurar si realmente la intensidad Alta es la peor; se espera obtener una respuesta con el análisis para los otros participantes.

Tabla 5.24: Puntaje obtenido para el participante 3.

Intensidad	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
Alta	7	6	7	7	8	7	4	8	54
Media	6	7	9	6	6	8	8	7	57
Baja	5	3	8	5	4	3	5	3	36

En la Tabla 5.24 se observa que la intensidad Media brinda las mejores condiciones ya que el puntaje es mayor, en esta ocasión el valor de la intensidad media es escasamente superior al de la intensidad alta, debido a que la intensidad Alta presenta valores más pequeños de D.E. tanto en el CoG como en articulaciones, además la intensidad Alta presenta menor IQR con respecto a las otras dos intensidades pero la intensidad media tiene menor cantidad de DA y menor RI. Para el caso de la peor intensidad se puede notar con amplio margen que es la baja.

Tabla 5.25: Puntaje obtenido para el participante 4.

Intensidad	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
Alta	6	5	7	6	7	5	6	6	48
Media	6	8	6	7	7	5	5	5	49
Baja	6	5	3	5	4	8	7	7	45

En la Tabla 5.25 se observa: a la intensidad Media con el mayor puntaje, lo que indica ser la mejor condición de luz; a la intensidad Baja con el menor puntaje, que correspondería ser la peor condición. En este caso se observa que el valor de puntajes es muy pareja, siendo la diferencia de la intensidad media de 1 punto con la intensidad Alta y 4 puntos con la intensidad Baja.

Tabla 5.26: Puntaje obtenido para el participante 5.

Intensidad	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
Alta	7	6	7	5	5	8	7	6	51
Media	4	7	7	7	6	6	7	8	52
Baja	5	4	4	6	7	4	4	4	38

Los resultados que muestra la Tabla 5.26, indica que la intensidad de luz baja actúa como la menos favorable para la captura de datos con el Kinect, debido a que la diferencia de puntajes entre esta y las intensidades Media y Alta es muy amplia.

Por otro lado, la intensidad Media esta un punto por arriba de la intensidad Alta, se observa que estas intensidades poseen condiciones similares con algunas variaciones en los parámetros, la diferencia es mínima pero la intensidad media indica ser la mejor respecto a las otras.

Según los resultados obtenidos por mayoría de participantes, la intensidad Media es la que presenta los mejores resultados, pues el 100 % de ellos registraron buenos valores para esta intensidad. La intensidad Baja presenta los peores resultados en 3 de los 5 participantes, lo que lleva a deducir que la intensidad baja es la peor condición para el Kinect.

5.2.3. Por posición de las fuentes de luz

A continuación se sigue el mismo proceso de análisis que en los casos de variación de color y de intensidad de luz, con las Tablas Multicriterio se determina cual es la mejor posición de las fuentes definidas en la sección 4.2.1 para trabajar con el Kinect. Las Tablas Multicriterio de los 5 participantes son los siguientes.

Tabla 5.27: Puntaje obtenido para el participante 1.

Posición	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
1	10	10	6	10	8	10	9	9	72
2	9	8	6	10	9	10	6	10	68
3	4	4	8	4	6	5	8	6	45
4	6	8	7	6	6	5	6	5	49

En la Tabla 5.27 se observa que la posición 1 es la que brinda el puntaje más alto, seguido de la posición 2, la 4 y finalmente la 3, entre las posiciones 1 y 2 el margen de diferencia es muy escaso, al igual que en las posiciones 3 y 4; se espera obtener diferencias más amplias entre las posiciones en los siguientes participantes para poder llegar a una conclusión.

Tabla 5.28: Puntaje obtenido para el participante 2.

Posición	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
1	5	4	7	5	8	5	6	8	48
2	10	6	9	10	9	11	7	8	70
3	6	9	9	5	7	7	10	6	59
4	8	11	9	10	5	7	6	8	64

En la Tabla 5.28 se observa que la posición 2 es la que brinda el mejor escenario de iluminación para el Kinect. El peor caso se lo lleva la posición 1, la diferencia respecto a las demás es notable. Mientras que la posición 3 y 4 son las condiciones intermedias que están por encima de la peor y por debajo de la mejor. Las consideraciones esperadas a comparación de las anteriores son diferentes, con lo que aún no se podría confirmar alguna suposición.

Tabla 5.29: Puntaje obtenido para el participante 3.

Posición	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
1	6	7	5	9	7	9	6	9	58
2	4	2	5	3	6	6	2	2	30
3	5	4	3	4	4	2	4	2	28
4	0	4	7	2	1	1	7	5	27

En la Tabla 5.29 se observa que la posición 1 es la que brinda las mejores condiciones de iluminación, superando por amplia diferencia a las demás, en este caso todos los parámetros tienen mejores valores estadísticos a comparación de las otras posiciones. El peor caso lo muestra la posición 4 pero con un puntaje de escasa diferencia frente a las posiciones 2 y 3, por lo que aún no se puede concluir con certeza cuál sería la peor posición.

Tabla 5.30: Puntaje obtenido para el participante 4.

Posición	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
1	6	5	7	6	7	9	4	11	55
2	9	11	11	11	10	9	10	10	81
3	6	9	8	8	5	3	9	3	51
4	7	5	6	5	7	9	5	6	50

En la Tabla 5.30 se observa que la posición 2 es la que brinda el mejor escenario para el Kinect, es muy notable la diferencia respecto a las otras posiciones, lo que significa que presenta las mejores condiciones en todos los parámetros evaluados para este participante. El peor caso lo presenta la posición 4, aunque con escasa diferencia de las posiciones 1 y 3.

Tabla 5.31: Puntaje obtenido para el participante 5.

Posición	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
1	5	4	11	3	3	3	12	3	44
2	7	6	5	9	8	8	7	9	59
3	7	12	6	11	11	12	7	12	78
4	7	8	6	7	7	7	3	6	51

En la tabla 5.31, se observa que la posición de fuentes numero 3 obtiene un amplio puntaje por delante de las otras posiciones, le sigue la posición 2, 4 y por ultimo la 1, indicando respectivamente el orden de favorabilidad para la captura de datos con el dispositivo Kinect. Esta información indica que las luces frontales al objeto de estudio son adecuadas para la captura de datos, a diferencia de la posición 1, la cual es la única que presenta iluminación lateral y es la que registra menor puntaje y por lo tanto seria la menos apropiada.

Si se observan detenidamente los resultados de las Tablas Multicriterio por variación de posición de las fuentes, en las personas que corresponden a los participantes 1, 2, 3 y 4 se puede decir que la peor posición para la captura de datos del Kinect es la 4, como se puede observar en 2 de los 4 casos, pero se debe tener en cuenta que las diferencias de los puntajes son mínimas y no garantiza que la afirmación sea del todo correcta; las mejores posiciones son la 1 y 2 como se ve en 2 de los 4 participantes, ambos casos y en algunos de los participantes los puntajes superan ampliamente a los de las posiciones 3 y 4, por lo que no se puede asegurar cuál de las dos es la mejor posición. Comparándolos con los puntajes del maniquí los resultados son muy diferentes, ya que muestra mejores resultados la captura de datos con la posición 3 y los peores resultados con la posición 1. Esto significa que el movimiento involuntario de las personas supera el ruido causado por las condiciones lumínicas.

El análisis realizado con el maniquí, sirve de base para observar la variabilidad que presenta el dispositivo Kinect, a la hora de escanear una figura humana que no experimenta ninguna clase de movimiento. Se observa que éste arroja menor rango de variabilidad de los diferentes parámetros respecto a los datos obtenidos con un ser humano en fase de bipedestación, debido a la total quietud; las condiciones mas fiables obtenidas para el sistema en este caso no sirven como un punto de comparación respecto a los otros individuos de estudio, debido a que una persona siempre experimentará mínimos movimientos por más que se desee permanecer en completa quietud [80].

El análisis realizado por el método de la construcción de tablas multicriterio finalmente se decide desestimarlos debido a que fue muy difícil justificar los parámetros de ponderación de cada criterio, es decir, se hace una reflexión sobre este método usado porque realmente no se conoce que medida estadística usada en este trabajo de inves-

tigación tiene mayor peso y los resultados obtenidos no tendrían sentido. Por lo tanto los resultados obtenidos fueron no concluyentes, esta situación se da debido a que los micromovimientos producidos por las personas introducen una gran cantidad de ruido, que supera al que puede proporcionar la iluminación, por esta razón los resultados fueron no concluyentes. Dada la situación se observa la variabilidad que sufre el posicionamiento del CoG mediante la captura de datos con el maniquí debido a que este asegura la exclusión de los micromovimientos. Con resultados obtenidos a partir del maniquí, se pueden observar la gran cantidad de ruido que ingresa cada persona debido a sus micromovimientos, según los resultados de DE del maniquí que indican una medida mas pequeña a comparación que las de las personas.

Capítulo 6

Conclusiones y trabajos futuros

6.1. Conclusiones

De acuerdo a los análisis realizados en la anterior sección **Análisis de resultados**, se obtuvo información la cual llevo a destacar las siguientes conclusiones y algunos trabajos futuros:

6.1.1. Conclusiones preliminares:

En esta parte se tienen en cuenta los resultados obtenidas a partir de las tablas multicriterio, que como se había dicho es un método no confiable debido a que no se pudo justificar los factores de ponderación de cada criterio. A continuación se presentan las conclusiones obtenidas a partir del análisis realizado por color, intensidad y posición de las fuentes de iluminación.

Análisis de color:

Según los tres colores de iluminación estudiados en el trabajo de grado, se puede observar de las Tablas Multicriterio para el participante 5, que corresponde al maniquí, que el color de luz rojo corresponde al mejor ambiente de iluminación para el dispositivo Kinect.

Mirando los resultados obtenidos para las personas, que corresponden a los participantes 1, 2, 3 y 4, se puede concluir que el color que proporciona las mejores condiciones espectrales es el color verde, debido a que obtuvo la mejor puntuación según los parámetros estipulados en 3 de las 4 personas; se observa que el dispositivo Kinect tiene un mejor comportamiento en la captura de datos trabajando con una luz que se encuentre

en el centro del espectro visible, es decir que no esté cercana a los límites de la luz infrarroja y tampoco a la luz ultravioleta; la cantidad de DA y los rangos mostrados en los diagramas de caja y bigotes indican la fiabilidad para trabajar bajo condiciones de luz verde en la estimación del CoG. En el caso del peor color de iluminación, las Tablas indican que el color rojo corresponde a este lugar, debido a que en 2 de las 4 personas el puntaje total está muy por debajo respecto a los otros colores de luz, mientras que en las otros 2 personas el puntaje supera al de la luz azul pero con una diferencia muy estrecha.

Se debe recordar que para un individuo permanecer en quietud total en fase de bipedestacion es algo difícil, por eso se debe tener en cuenta las mediciones hechas con humanos, las cuales son afectadas por los micro-movimientos involuntarios mas las variaciones propias del Kinect.

Análisis de intensidad:

De las tres intensidades lumínicas estudiadas en el trabajo de grado, la intensidad media mostró mejores resultados en la captura de datos con el Kinect, esto se ve en las Tablas Multicriterio de intensidad, en donde los puntajes para el CoG y las articulaciones coinciden en ser mejores para esta intensidad de luz, tanto para el maniquí como las personas. Por otra parte la intensidad Baja mostró ser el peor escenario para capturar datos con el Kinect, debido a que los resultados de las Tablas multicriterio por intensidad muestran que 3 de los 5 participantes presentan resultados muy bajos, que son lo suficientemente significativos para llegar a esta conclusión.

Análisis de posición:

Para el maniquí, las posición que presenta mayor fiabilidad para la captura de datos y estimación del CoG corresponde a la 3, seguida de la 2, la 4 y la 1; se puede ver que las posiciones que presentan iluminación frontal al objeto de estudio son las mejores, mientras que la única posición que presenta iluminacion lateral presenta los resultados menos favorables.

Para las personas las posiciones que mejores resultados muestran en la captura de información con el Kinect son las posiciones 1 y 2, es decir cuando las fuentes están más cerca al participante pero mas alejadas del kinect. Tiene el mismo sentido al ser considerada la posición 4 como la peor para el dispositivo Kinect, debido a que las fuentes están más alejadas del participante pero más cercanas al Kinect. Lo anterior significa que entre más cercana se encuentre la fuente de iluminación a la cámara IR del dispositivo Kinect, la captura de datos será más ruidosa, disminuyendo su fiabilidad.

Al no obtener relación de resultados entre los datos obtenidos del maniquí y las

personas, se le da mayor aceptación a los resultados conseguidos con las personas, al igual que en las conclusiones de color de luz. Las posiciones 3 y 4 las cuales fueron las que presentaron las peores puntuaciones en las personas, pueden relacionarse con el tiempo prolongado de los participantes en fase de bipedestacion, ya que estas posiciones eran las ultimas en trabajarse y los individuos pudieron presentar fatiga o incomodidad y los movimientos pueden aumentar, algo que no ocurre con el maniquí, es por eso que se tiene resultados que indican una posición muy diferente.

6.1.2. Conclusiones finales:

En esta parte se expresan la conclusiones obtenidas desestimando los resultados obtenidos a partir de las tablas multicriterio. De los análisis realizados se puede afirmar que

- Los micro movimientos de las personas a la hora de permanecer en fase de bipedestación introducen la mayor cantidad de ruido al dispositivo Kinect al momento de capturar datos para la estimación del CoG.
- Se observa la fiabilidad de las bombillas tipo led a la hora de capturar datos para la estimación del CoG en personas en fase de bipedestación erguida, debido a que estas presentan un tipo de iluminación fría y emitir un rango de frecuencias similar.
- Se proporciona un protocolo para la estimación del CoG en personas en fase de bipedestación haciendo uso de iluminación controlada.

6.2. Trabajos futuros

Como trabajo futuro se espera realizar un estudio similar, con frecuencias de luz diferentes a las usadas en este trabajo, con el objetivo de concluir de una forma mucho más contundente si las frecuencias que se ubican cercanas al infrarrojo del espectro electromagnético visible son las más adecuadas para trabajar con el dispositivo Kinect. También se recomienda realizar el trabajo usando intensidades de luz con valores más altos, usando fuentes de potencia de 40w como mínimo para la intensidad alta, debido a que con los 9w usados en este proyecto la diferencia de intensidades alta, media y baja no se lograba una iluminación fuerte en el cuarto de pruebas empleado. Finalmente se recomienda experimentar otras posiciones de las fuentes respecto al Kinect, como colocarlas detrás del sensor, esa posición no se estudió en este trabajo por las dimensiones limitadas del cuarto.

Además se espera que los participantes sean en mayor número, tratar de alguna forma que sean posicionados de la manera más cómoda posible para garantizar mayor estabilidad e inmovilidad, se recomienda algún tipo de soporte que evite el balanceo tanto de cuerpo como extremidades, ya que en este trabajo se veían muchos datos que no eran acordes a los esperados, esto se ve más que todo en la coordenada Z, en la cual era la única coordenada que mostraba contradicciones respecto a las demás, esto puede deberse al balanceo involuntario que ocurre en las personas al estar de pie por un periodo de tiempo prolongado.

Cuantificar la cantidad de ruido proporcionada por el dispositivo Kinect y por el movimiento de las personas a la hora de realizar la estimación del CoG en fase de bipedestación. Así como analizar el algoritmo que usan dispositivos de alto costo para eliminar el ruido proveniente de los micro movimientos de las personas.

Incrementar el numero de dispositivos Kinect a la hora de realizar la captura de datos, para realizar el procesos y que permita comprobar las conclusiones que se han obtenido con este trabajo; sería necesario para descartar que algunos datos extraños se hayan tomado por algún desperfecto físico ya sea en las cámaras, en el componente IR o en el motor.

Apéndice A

Tablas para los datos estadísticos por variación de color de luz.

A.1. Participante 2

A.1.1. Parámetros del Diagrama de Caja y Bigotes

Tabla A.1: Datos del IQR obtenidos para el CoG.

Color	IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,0063	0,0048	0,0051
Rojo	0,0095	0,0030	0,0093
Verde	0,0069	0,0024	0,0093

Tabla A.2: Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.

Color	Promedio de datos IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,00724	0,006035	0,0090275
Rojo	0,0090425	0,0065725	0,0130375
Verde	0,0083325	0,00521	0,0130375

Tabla A.3: Datos obtenidos del RT para CoG.

Color	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,0153	0,0097	0,0269
Rojo	0,0207	0,012	0,0405
Verde	0,0175	0,0099	0,0335

Tabla A.4: Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.

Color	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,019045	0,024035	0,03911
Rojo	0,026385	0,024425	0,053365
Verde	0,021315	0,021865	0,04022

Tabla A.5: Número de DA obtenidos por cada color de luz en el CoG y todas las articulaciones.

Color	Coordenada X		Coordenada Y		Coordenada Z	
	CoG	Art.	CoG	Art.	CoG	Art.
Azul	0	692	0	1812	43	1689
Rojo	0	178	216	1201	33	1284
Verde	0	624	14	1738	33	1284

A.1.2. Desviación estándar

Tabla A.6: Resultados de D.E. en la coordenada X.

Color	Promedio D.E. de datos de art. (m)	D.E. de datos del CoG (m).
Azul	0,00446447	0,00365983
Rojo	0,00622726	0,00538019
Verde	0,00539667	0,00458108

Tabla A.7: Resultados de D.E. en la coordenada Y.

Color	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Azul	0,00445293	0,00254278
Rojo	0,00515264	0,00266802
Verde	0,00448036	0,00206551

Tabla A.8: Resultados de D.E. en la coordenada Z.

Color	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Azul	0,0070923	0,0041245
Rojo	0,01117943	0,00883736
Verde	0,00942685	0,00687349

A.1.3. Tabla Multicriterio

Tabla A.9: Tablas multicriterio para el Participante 2.

Color	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
Azul	7	9	6	8	8	8	4	9	59
Rojo	4	3	5	3	3	3	8	3	32
Verde	6	6	6	7	6	7	5	6	49

A.2. Participante 3.

A.2.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes

Tabla A.10: Datos del IQR obtenidos para el CoG.

Color	IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,0026	0,0044	0,0038
Rojo	0,0053	0,0034	0,0046
Verde	0,0019	0,0027	0,0046

Tabla A.11: Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.

Color	Promedio de datos IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,0045175	0,0082475	0,007175
Rojo	0,0047925	0,007895	0,00633
Verde	0,0031625	0,00694	0,00633

Tabla A.12: Datos obtenidos del RT para CoG.

Color	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,0214	0,01	0,0109
Rojo	0,0206	0,0138	0,0145
Verde	0,017	0,0094	0,0163

Tabla A.13: Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.

Color	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,017195	0,02203	0,02842
Rojo	0,01505	0,025735	0,02525
Verde	0,01161	0,021275	0,024085

Tabla A.14: Número de DA obtenidos por cada color de luz en el CoG y todas las articulaciones.

Color	Coordenada X		Coordenada Y		Coordenada Z	
	CoG	Art.	CoG	Art.	CoG	Art.
Azul	0	456	0	1236	0	1011
Rojo	0	1356	164	2106	7	764
Verde	0	1596	1	1767	7	764

A.2.2. Desviación estándar

Tabla A.15: Resultados de D.E. en la coordenada X.

Color	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG(m).
Azul	0,00311661	0,00178611
Rojo	0,00341638	0,00267141
Verde	0,00237718	0,00160493

Tabla A.16: Resultados de DE en la coordenada Y.

Color	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG(m).
Azul	0,00527821	0,00264452
Rojo	0,00593291	0,00281362
Verde	0,00465531	0,00183959

Tabla A.17: Resultados de D.E. en la coordenada Z.

Color	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG(m).
Azul	0,00506391	0,00240721
Rojo	0,00549571	0,00245401
Verde	0,00449708	0,00313244

A.2.3. Tablas Multicriterio

Tabla A.18: Tablas Multicriterio para el análisis del Color de luz. Participante 3.

Color	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
Azul	6	6	9	2	5	7	7	2	53
Rojo	4	5	5	1	3	4	5	1	33
Verde	7	7	6	3	9	7	5	3	57

A.3. Participante 4.

A.3.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes

Tabla A.19: Datos del IQR obtenidos para el CoG.

Color	IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,0051	0,0029	0,0092
Rojo	0,0039	0,0034	0,0059
Verde	0,004	0,0025	0,0059

Tabla A.20: Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.

Color	Promedio de datos IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,0062625	0,005125	0,0144325
Rojo	0,00477	0,0054125	0,0104875
Verde	0,005185	0,003445	0,0104875

Tabla A.21: Datos obtenidos del RT para CoG.

Color	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,012	0,0119	0,0322
Rojo	0,0168	0,0116	0,0278
Verde	0,0108	0,0112	0,0313

Tabla A.22: Valores promedio de los RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.

Color	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Azul	0,019345	0,03804	0,044205
Rojo	0,019985	0,03781	0,042615
Verde	0,015255	0,01872	0,03405

Tabla A.23: Número de DA obtenidos por cada color de luz en el CoG y todas las articulaciones.

Color	Coordenada X		Coordenada Y		Coordenada Z	
	CoG	Art.	CoG	Art.	CoG	Art.
Azul	0	434	54	2532	97	1000
Rojo	300	3337	0	5069	149	763
Verde	0	264	2	1066	149	763

A.3.2. Desviación estándar

Tabla A.24: Resultados de D.E. en la coordenada X.

Color	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Azul	0,00381437	0,00302154
Rojo	0,00393252	0,00368999
Verde	0,00328731	0,00255262

Tabla A.25: Resultados de Desviación D.E. en la coordenada Y.

Color	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Azul	0,00499093	0,00219461
Rojo	0,00504235	0,0021356
Verde	0,00265442	0,00149293

Tabla A.26: Resultados de D.E. en la coordenada Z.

Color	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Azul	0,01009804	0,00738052
Rojo	0,00851683	0,00590049
Verde	0,00696633	0,00548943

A.3.3. Tablas multicriterio

Tabla A.27: Tablas Multicriterio para el análisis del Color de luz. Participante 4.

Color	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
Azul	5	4	6	4	4	4	5	5	37
Rojo	6	6	5	5	5	5	4	4	40
Verde	7	8	5	9	8	9	8	9	63

Apéndice B

Tablas para los datos estadísticos por variación de intensidad de luz.

B.1. Participante 1.

B.1.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes

Tabla B.1: Datos del IQR obtenidos para el CoG.

Intensidad	IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,007	0,0039	0,01255
Media	0,0053	0,0037	0,0169
Baja	0,0089	0,0028	0,0117

Tabla B.2: Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.

Intensidad	Promedio de datos IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,011305	0,006825	0,0163625
Media	0,0104825	0,0075625	0,0182875
Baja	0,01294	0,0077475	0,0149125

Tabla B.3: Datos obtenidos del RT para CoG.

Intensidad	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,0163	0,0194	0,0454
Media	0,0137	0,0125	0,0613
Baja	0,0184	0,0183	0,0467

Tabla B.4: Valores promedio de los RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.

Intensidad	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,03113	0,034185	0,05148
Media	0,025895	0,02707	0,060525
Baja	0,030375	0,03341	0,053665

Tabla B.5: Número de DA obtenidos en el CoG y todas las articulaciones.

Intensidad	Coordenada X		Coordenada Y		Coordenada Z	
	CoG	Art.	CoG	Art.	CoG	Art.
Alta	0	1079	300	2898	4	1023
Media	0	34	6	1706	4	241
Baja	0	0	300	2437	52	1712

B.1.2. Desviación estándar

Tabla B.6: Resultados de D.E. en la coordenada X.

Intensidad	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Alta	0,0074265	0,004351525
Media	0,006584882	0,00364814
Baja	0,007794044	0,00495571

Tabla B.7: Resultados de D.E. en la coordenada Y.

Intensidad	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Alta	0,006984183	0,004336363
Media	0,005549909	0,002465396
Baja	0,007109258	0,004184833

Tabla B.8: Resultados de D.E. en la coordenada Z.

Intensidad	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Alta	0,011373224	0,009162899
Media	0,013239717	0,013206589
Baja	0,011237448	0,008861346

B.1.3. Tabla Multicriterio

Tabla B.9: Tabla Multicriterio para el análisis de Intensidad de luz. Participante 1.

Intensidad	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
Alta	5	6	5	5	7	5	5	7	40
Media	6	7	7	7	6	7	8	7	55
Baja	7	5	4	6	5	6	6	5	44

B.2. Participante 2.

B.2.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes

Tabla B.10: Datos del IQR obtenidos para el CoG.

Intensidad	IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,0081	0,0023	0,0099
Media	0,0064	0,0049	0,0057
Baja	0,00765	0,0034	0,0081

Tabla B.11: Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.

Intensidad	Promedio de datos IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,00963	0,0055725	0,01453
Media	0,006965	0,00744	0,0107925
Baja	0,0082575	0,0054175	0,01069

Tabla B.12: Datos obtenidos del RT para CoG.

Intensidad	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,019	0,0098	0,0347
Media	0,0162	0,0129	0,0304
Baja	0,0203	0,0101	0,039

Tabla B.13: Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.

Intensidad	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,02425	0,023995	0,049105
Media	0,022595	0,026505	0,04294
Baja	0,02459	0,021595	0,04177

Tabla B.14: Número de DA obtenidos en el CoG y todas las articulaciones.

Intensidad	Coordenada X		Coordenada Y		Coordenada Z	
	CoG	Art.	CoG	Art.	CoG	Art.
Alta	0	156	300	2312	30	867
Media	0	1006	0	1523	188	2097
Baja	0	707	300	2188	300	3603

B.2.2. Desviación estándar

Tabla B.15: Resultados de D.E. en la coordenada X.

Intensidad	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Alta	0,00618299	0,005245058
Media	0,004772292	0,003723078
Baja	0,005595853	0,004774003

Tabla B.16: Resultados de D.E. en la coordenada Y.

Intensidad	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Alta	0,004584767	0,002205524
Media	0,005633804	0,003376507
Baja	0,004493489	0,002434138

Tabla B.17: Resultados de D.E. en la coordenada Z.

Intensidad	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Alta	0,010477295	0,00711632
Media	0,008816375	0,005493113
Baja	0,009637156	0,008839376

B.2.3. Tabla multicriterio

Tabla B.18: Tabla Multicriterio para el análisis de la Intensidad de luz. Participante 2.

Intensidad	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
Alta	5	7	6	6	4	5	7	4	44
Media	7	7	7	7	6	6	6	7	53
Baja	6	4	4	5	8	7	5	7	46

B.3. Participante 3.

B.3.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes

Tabla B.19: Datos del IQR obtenidos para el CoG.

Intensidad	IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,0027	0,0031	0,003
Media	0,0023	0,0039	0,0054
Baja	0,005	0,0047	0,0029

Tabla B.20: Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.

Intensidad	Promedio de datos IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,00408	0,007525	0,0056675
Media	0,0036025	0,0075575	0,0070725
Baja	0,005275	0,007905	0,006495

Tabla B.21: Datos obtenidos del RT para CoG.

Intensidad	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,0082	0,0094	0,0162
Media	0,0058	0,0094	0,0162
Baja	0,0099	0,0136	0,0179

Tabla B.22: Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.

Intensidad	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,013205	0,021935	0,02434
Media	0,01231	0,02198	0,024065
Baja	0,01916	0,027655	0,032755

Tabla B.23: Número de DA obtenidos por cada color de luz en el CoG y todas las articulaciones.

Intensidad	Coordenada X		Coordenada Y		Coordenada Z	
	CoG	Art.	CoG	Art.	CoG	Art.
Alta	0	664	0 1190	201	1690	
Media	0	642	0 984	0	1205	
Baja	0	787	0 1118	73	1577	

B.3.2. Desviación estándar

Tabla B.24: Resultados de D.E. en la coordenada X.

Intensidad	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Alta	0,00288303	0,00203895
Media	0,00254996	0,00142222
Baja	0,00368299	0,00279576

Tabla B.25: Resultados de D.E. en la coordenada Y.

Intensidad	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Alta	0,00502223	0,00204008
Media	0,00515301	0,0021634
Baja	0,00589197	0,00300384

Tabla B.26: Resultados de D.E. en la coordenada Z.

Intensidad	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Alta	0,00468546	0,00244936
Media	0,0051633	0,00344605
Baja	0,00551995	0,00242238

B.3.3. Tabla Multicriterio

Tabla B.27: Tabla Multicriterio para el análisis de Intensidad de luz.

Intensidad	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
Alta	7	6	7	7	8	7	4	8	54
Media	6	7	9	6	6	8	8	7	57
Baja	5	3	8	5	4	3	5	3	36

B.4. Participante 4.

B.4.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes

Tabla B.28: Datos del IQR obtenidos para el CoG.

Intensidad	IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,0039	0,0033	0,0092
Media	0,0045	0,0025	0,0099
Baja	0,0047	0,0032	0,0067

Tabla B.29: Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.

Intensidad	Promedio de datos IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,00489	0,0044975	0,0130675
Media	0,0055025	0,004625	0,0115375
Baja	0,00618	0,0048175	0,0122125

Tabla B.30: Datos obtenidos del RT para CoG.

Intensidad	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,0129	0,0115	0,0373
Media	0,0125	0,0114	0,0296
Baja	0,0168	0,012	0,0249

Tabla B.31: Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.

Intensidad	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,01901	0,03813	0,04556
Media	0,01778	0,039105	0,04723
Baja	0,018935	0,02213	0,034485

Tabla B.32: Número de DA obtenidos por cada color de luz en el CoG y todas las articulaciones.

Intensidad	Coordenada X		Coordenada Y		Coordenada Z	
	CoG	Art.	CoG	Art.	CoG	Art.
Alta	0	1250	2	2457	75	1418
Media	0	648	27	5498	0	1698
Baja	234	1321	43	1590	0	725

B.4.2. Desviación estándar

Tabla B.33: Resultados de D.E. en la coordenada X.

Intensidad	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Alta	0,003525454	0,002665868
Media	0,003585901	0,002925641
Baja	0,004437963	0,003959201

Tabla B.34: Resultados de D.E. en la coordenada Y.

Intensidad	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Alta	0,004295837	0,002053146
Media	0,005050195	0,001916296
Baja	0,003599477	0,002336984

Tabla B.35: Resultados de D.E. en la coordenada Z.

Intensidad	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Alta	0,009487361	0,007643772
Media	0,008809208	0,006281815
Baja	0,007851243	0,004848465

B.4.3. Tabla multicriterio

Tabla B.36: Tabla Multicriterio para el análisis de la intensidad de luz. Participante 4.

Intensidad	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
Alta	6	5	7	6	7	5	6	6	48
Media	6	8	6	7	7	5	5	5	49
Baja	6	5	3	5	4	8	7	7	45

B.5. Participante 5.

B.5.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes

Tabla B.37: Datos del IQR obtenidos para el CoG.

Intensidad	IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,002	0,0083	0,0031
Media	0,0021	0,00895	0,00315
Baja	0,0021	0,0076	0,0033

Tabla B.38: Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.

Intensidad	Promedio de datos IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,003615	0,0143275	0,0039325
Media	0,0035325	0,013745	0,003985
Baja	0,003415	0,012565	0,0041875

Tabla B.39: Datos obtenidos del RT para CoG.

Intensidad	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,0039	0,0263	0,006
Media	0,0041	0,026	0,0052
Baja	0,0042	0,0279	0,0052

Tabla B.40: Valores promedio de los RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.

Intensidad	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
Alta	0,018335	0,05298	0,02099
Media	0,01785	0,054435	0,02203
Baja	0,019715	0,05593	0,02116

Tabla B.41: Número de DA obtenidos en el CoG y todas las articulaciones.

Intensidad	Coordenada X		Coordenada Y		Coordenada Z	
	CoG	Art.	CoG	Art.	CoG	Art.
Alta	0	2259	239	4593	30	867
Media	0	2727	0	3865	188	2097
Baja	0	3283	481	4510	300	3603

B.5.2. Desviación estándar

Tabla B.42: Resultados de D.E. en la coordenada X.

Intensidad	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Alta	0,00279846	0,00102447
Media	0,0028226	0,00111691
Baja	0,00376371	0,00113979

Tabla B.43: Resultados de D.E. en la coordenada Y.

Intensidad	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Alta	0,01481965	0,00879828
Media	0,01456281	0,00851233
Baja	0,01486661	0,00820398

Tabla B.44: Resultados de D.E. en la coordenada Z.

Intensidad	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
Alta	0,00295545	0,00176827
Media	0,00278887	0,00163805
Baja	0,00289529	0,00165568

B.5.3. Tabla Multicriterio

Tabla B.45: Tabla Multicriterio para el análisis de Intensidad de luz. Participante 5.

Intensidad	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
Alta	7	6	7	5	5	8	7	6	51
Media	4	7	7	7	6	6	7	8	52
Baja	5	4	4	6	7	4	4	4	38

Apéndice C

Tablas para los datos estadísticos por variación de posición de las fuentes lumínicas.

C.1. Participante 1.

C.1.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes

Tabla C.1: Datos del IQR obtenidos para el CoG.

Posición	IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,00535	0,0017	0,0119
2	0,0038	0,0038	0,0075
3	0,0083	0,0038	0,0165
4	0,0056	0,00215	0,01705

Tabla C.2: Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.

Posición	Promedio de datos IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,00789	0,0049625	0,0120775
2	0,0082625	0,0048375	0,009915
3	0,0098275	0,0048375	0,0167975
4	0,007145	0,0061475	0,018605

Tabla C.3: Datos obtenidos del RT para CoG.

Posición	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,0181	0,0092	0,0293
2	0,0136	0,01	0,0519
3	0,0197	0,017	0,0557
4	0,0114	0,0186	0,0467

Tabla C.4: Valores promedio de los RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.

Posición	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,025045	0,018175	0,036265
2	0,02136	0,02107	0,04984
3	0,02588	0,02915	0,0533
4	0,023265	0,032685	0,053285

Tabla C.5: Número de DA obtenidos en el CoG y todas las articulaciones.

Posición	Coordenada X		Coordenada Y		Coordenada Z	
	CoG	Art.	CoG	Art.	CoG	Art.
1	116	2191	33	583	0	435
2	69	629	0	2072	171	1797
3	0	268	0	2072	34	1387
4	0	1196	334	3594	0	844

C.1.2. Desviación estándar

Tabla C.6: Resultados de D.E. en la coordenada X.

Posición	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
1	0,00589328	0,00454572
2	0,00518369	0,00284574
3	0,00645306	0,00529517
4	0,00549466	0,00303403

Tabla C.7: Resultados de D.E. en la coordenada Y.

Posición	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
1	0,00371558	0,00142074
2	0,00426719	0,00250919
3	0,00642877	0,00443693
4	0,00735861	0,00462079

Tabla C.8: Resultados de D.E. en la coordenada Z.

Posición	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
1	0,00802197	0,00691193
2	0,00853967	0,00811339
3	0,01211361	0,01236483
4	0,01249144	0,01134667

C.1.3. Tabla Multicriterio

Tabla C.9: Tabla Multicriterio para el análisis de Posición de las fuentes. Participante 1

Posición	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
1	10	10	6	10	8	10	9	9	72
2	9	8	6	10	9	10	6	10	68
3	4	4	8	4	6	5	8	6	45
4	6	8	7	6	6	5	6	5	49

C.2. Participante 2.

C.2.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes

Tabla C.10: Datos del IQR obtenidos para el CoG.

Posición	IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,0053	0,0029	0,0114
2	0,004	0,0028	0,008
3	0,0073	0,0028	0,011
4	0,00405	0,0042	0,0066

Tabla C.11: Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.

Posición	Promedio de datos IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,0060575	0,0060325	0,012195
2	0,0065525	0,0050975	0,01127
3	0,00715	0,0050975	0,01175
4	0,006425	0,009455	0,014475

Tabla C.12: Datos obtenidos del RT para CoG.

Posición	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,0207	0,0084	0,0402
2	0,0143	0,0092	0,0223
3	0,013	0,0077	0,0299
4	0,0096	0,0079	0,0212

Tabla C.13: Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.

Posición	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,0223	0,015535	0,04196
2	0,0176	0,014655	0,03057
3	0,01893	0,022305	0,037995
4	0,016305	0,022615	0,040455

Tabla C.14: Número de DA obtenidos en el CoG y todas las articulaciones.

Posición	Coordenada X		Coordenada Y		Coordenada Z	
	CoG	Art.	CoG	Art.	CoG	Art.
1	230	1225	0	72	0	1293
2	0	1198	0	604	0	564
3	0	317	0	604	0	96
4	0	1119	0	654	0	1084

C.2.2. Desviación estándar

Tabla C.15: Resultados de D.E. en la coordenada X.

Posición	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
1	0,00495252	0,00482048
2	0,00454622	0,003692
3	0,00452173	0,00380386
4	0,00406784	0,00225003

Tabla C.16: Resultados de D.E. en la coordenada Y.

Posición	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
1	0,00367571	0,00204599
2	0,00358159	0,00246947
3	0,00425573	0,00158657
4	0,00560984	0,00231086

Tabla C.17: Resultados de D.E. en la coordenada Z.

Posición	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
1	0,0093419	0,00929806
2	0,00767099	0,00580252
3	0,00827259	0,00724016
4	0,00979111	0,00441591

C.2.3. Tabla multicriterio

Tabla C.18: Tabla Multicriterio para el análisis de Posición de las fuentes. Participante 2.

Posición	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
1	5	4	7	5	8	5	6	8	48
2	10	6	9	10	9	11	7	8	70
3	6	9	9	5	7	7	10	6	59
4	8	11	9	10	5	7	6	8	64

C.3. Participante 3.

C.3.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes

Tabla C.19: Datos del IQR obtenidos para el CoG.

Posición	IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,0018	0,0009	0,0023
2	0,0031	0,001	0,0034
3	0,002	0,001	0,0029
4	0,0035	0,0023	0,0061

Tabla C.20: Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.

Posición	Promedio de datos IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,002865	0,0047725	0,00375
2	0,0033525	0,0044875	0,00486
3	0,0033325	0,0044875	0,0067975
4	0,0044775	0,004945	0,0058175

Tabla C.21: Datos obtenidos del RT para CoG.

Posición	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,0063	0,0036	0,0125
2	0,0084	0,0054	0,0165
3	0,0078	0,0121	0,012
4	0,0066	0,008	0,0164

Tabla C.22: Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.

Posición	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,009365	0,010165	0,015845
2	0,012325	0,01335	0,020805
3	0,01297	0,02355	0,023075
4	0,015295	0,019945	0,026055

Tabla C.23: Número de DA obtenidos por cada color de luz en el CoG y todas las articulaciones.

Posición	Coordenada X		Coordenada Y		Coordenada Z	
	CoG	Art.	CoG	Art.	CoG	Art.
Alta	47	538	1	906	0	1499
Media	0	1791	135	2032	0	1602
Baja	115	2162	135	2032	0	513
Baja	0	96	0	859	0	1501

C.3.2. Desviación estándar

Tabla C.24: Resultados de D.E. en la coordenada X.

Posición	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
1	0,00198877	0,00133041
2	0,00288582	0,00230716
3	0,0026835	0,00175017
4	0,00285771	0,00185444

Tabla C.25: Resultados de D.E.) en la coordenada Y.

Posición	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
1	0,00272674	0,00066336
2	0,00351371	0,00097128
3	0,00490691	0,00211063
4	0,00346347	0,00146663

Tabla C.26: Resultados de D.E. en la coordenada Z.

Posición	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
1	0,00291403	0,00205446
2	0,00476263	0,00275375
3	0,00479742	0,00220189
4	0,004702	0,0040658

C.3.3. Tabla Multicriterio

Tabla C.27: Tabla Multicriterio para el análisis de Posición de las fuentes. Participante 3.

Posición	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
1	6	7	5	9	7	9	6	9	58
2	4	2	5	3	6	6	2	2	30
3	5	4	3	4	4	2	4	2	28
4	0	4	7	2	1	1	7	5	27

C.4. Participante 4.

C.4.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes

Tabla C.28: Datos del IQR obtenidos para el CoG.

Posición	IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,0048	0,0011	0,0082
2	0,003	0,0015	0,0058
3	0,0037	0,0015	0,0062
4	0,0037	0,0016	0,0054

Tabla C.29: Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.

Posición	Promedio de datos IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,0048425	0,003045	0,008575
2	0,00457	0,0028775	0,00818
3	0,00535	0,0028775	0,0115725
4	0,004155	0,0037325	0,00942

Tabla C.30: Datos obtenidos del RT para CoG.

Posición	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,0108	0,0102	0,0305
2	0,0107	0,0078	0,021
3	0,0081	0,0098	0,0254
4	0,0123	0,008	0,0308

Tabla C.31: Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.

Posición	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,01241	0,01686	0,0292
2	0,013935	0,01429	0,0281
3	0,016725	0,03968	0,04216
4	0,01377	0,014155	0,03296

Tabla C.32: Número de DA obtenidos por cada color de luz en el CoG y todas las articulaciones.

Posición	Coordenada X		Coordenada Y		Coordenada Z	
	CoG	Art.	CoG	Art.	CoG	Art.
1	0	1378	309	2567	25	982
2	0	485	13	303	0	986
3	0	518	133	303	49	735
4	31	1277	223	548	300	2501

C.4.2. Desviación estándar

Tabla C.33: Resultados de D.E. en la coordenada X.

Posición	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
1	0,00304448	0,00295412
2	0,00310288	0,00240301
3	0,00350256	0,00218548
4	0,00315574	0,00292826

Tabla C.34: Resultados de D.E. en la coordenada Y.

Posición	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
1	0,00250365	0,00129631
2	0,00200212	0,00108902
3	0,00553663	0,00211802
4	0,00266241	0,00152517

Tabla C.35: Resultados de D.E. en la coordenada Z.

Posición	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
1	0,00578955	0,00548965
2	0,00629511	0,00431131
3	0,00787751	0,0047344
4	0,00760346	0,00657701

C.4.3. Tabla multicriterio

Tabla C.36: Tabla Multicriterio para el análisis de Posición de las fuentes. Participante 4.

Posición	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
1	6	5	7	6	7	9	4	11	55
2	9	11	11	11	10	9	10	10	81
3	6	9	8	8	5	3	9	3	51
4	7	5	6	5	7	9	5	6	50

C.5. Participante 5.

C.5.1. Parámetros del diagrama de caja y bigotes

Tabla C.37: Datos del IQR obtenidos para el CoG.

Posición	IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,0027	0,0078	0,0015
2	0,0003	0,0015	0,0003
3	0,0003	0,0015	0,0003
4	0,0003	0,0007	0,0007

Tabla C.38: Valores promedio de los IQR para las 20 articulaciones.

Posición	Promedio de datos IQR		
	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,0044925	0,0121775	0,0038425
2	0,0014425	0,00451	0,001895
3	0,00111	0,00451	0,0012425
4	0,00146	0,0051	0,0015175

Tabla C.39: Datos obtenidos del RT para CoG.

Posición	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,0042	0,0118	0,004
2	0,0021	0,0138	0,0022
3	0,0014	0,0046	0,0014
4	0,0018	0,0084	0,0029

Tabla C.40: Valores promedio de RT de las 20 articulaciones en las coordenadas X, Y, Z.

Posición	Coordenada X(m)	Coordenada Y(m)	Coordenada Z(m)
1	0,01581	0,033475	0,0189
2	0,01039	0,03318	0,010985
3	0,009055	0,020475	0,0106
4	0,015395	0,030305	0,01425

Tabla C.41: Número de DA obtenidos en el CoG y todas las articulaciones.

Posición	Coordenada X		Coordenada Y		Coordenada Z	
	CoG	Art.	CoG	Art.	CoG	Art.
1	0	238	0	583	0	345
2	266	1131	30	1667	13	812
3	28	919	30	1667	27	1138
4	133	1761	438	4045	0	3687

C.5.2. Desviación estándar

Tabla C.42: Resultados de D.E. en la coordenada X.

Posición	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
1	0,00259022	0,00128392
2	0,00123324	0,00030377
3	0,00095561	0,0002398
4	0,00241808	0,00027308

Tabla C.43: Resultados de D.E. en la coordenada Y.

Posición	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
1	0,00734194	0,00344743
2	0,00431085	0,00126279
3	0,00321957	0,00059996
4	0,00580132	0,00136341

Tabla C.44: Resultados de D.E. en la coordenada Z.

Posición	Promedio D.E. de datos de art (m).	D.E. de datos del CoG (m).
1	0,002630756	0,0010478
2	0,001424927	0,00019608
3	0,001053649	0,00023646
4	0,00177702	0,00054946

C.5.3. Tabla Multicriterio

Tabla C.45: Tabla Multicriterio para el análisis de Posición de las fuentes. Participante

Posición	CoG				Articulaciones				Total
	IQR	RT	D. Atípicos	DE	IQR	RT	D. Atípicos	DE	
1	5	4	11	3	3	3	12	3	44
2	7	6	5	9	8	8	7	9	59
3	7	12	6	11	11	12	7	12	78
4	7	8	6	7	7	7	3	6	51

Bibliografía

- [1] J. A. García Arias, J. B. Padilla Bejarano, E. Arango Posada, J. A. López García, and L. Arango, “Sistema para determinar el centro de gravedad de un deportista practicante de tejo,” Master’s thesis, Universidad del Quindío. Sistema integrado de gestión, 2015.
- [2] M. I. R. Mikel Izquierdo, *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte*, M. Panamericana, Ed. Biblioteca Nacional, 2008.
- [3] B. Lakhani and A. Mansfield, “Visual feedback of the centre of gravity to optimize standing balance,” *Gait & posture*, vol. 41, no. 2, pp. 499–503, 2015.
- [4] J. Boughen, K. Dunn, J. Nitz, V. Johnston, and A. Khan, “A new method of interpreting the centre of gravity location using the modified clinical test of sensory interaction on balance: A reliability study,” *Hong Kong Physiotherapy Journal*, vol. 31, no. 2, pp. 64–68, 2013.
- [5] T. M. Wildes, P. Dua, S. A. Fowler, J. P. Miller, C. R. Carpenter, M. S. Avidan, and S. Stark, “Systematic review of falls in older adults with cancer,” *Journal of geriatric oncology*, vol. 6, no. 1, pp. 70–83, 2015.
- [6] D. F. Graham, C. P. Carty, D. G. Lloyd, and R. S. Barrett, “Biomechanical predictors of maximal balance recovery performance amongst community-dwelling older adults,” *Experimental gerontology*, vol. 66, pp. 39–46, 2015.
- [7] G. M. Paul Allen Tipler, *Física para la ciencia y la tecnología*, Reverté, Ed. Departamento de física de la Universidad Autónoma de Barcelona, 2005.
- [8] V. Soto and M. G. Calvo, “Parámetros inerciales para el modelado biomecánico del cuerpo humano,” *European Journal of Human Movement*, vol. 2, no. 2, pp. 169–189, 1996.
- [9] M. A. Quintana Rosales, “Registro de una secuencia temporal de nubes de puntos utilizando tecnología kinect para la reconstrucción tridimensional de material arqueológico,” Master’s thesis, Pontificia universidad católica del Perú, 2014.

- [10] L. Yeung, K. C. Cheng, C. Fong, W. C. Lee, and K.-Y. Tong, “Evaluation of the microsoft kinect as a clinical assessment tool of body sway,” *Gait & posture*, vol. 40, no. 4, pp. 532–538, 2014.
- [11] M. Reyes, J. Ramírez-Moreno, J. R. Revilla, P. Radeva, and S. Escalera, “Sistema multisensor de adquisición automática de datos corporales objetivos, robustos y fiables para el análisis de la postura y el movimiento,” *ABIDAS*, vol.-, pp. 1–7, 2012.
- [12] L. A. Schwarz, A. Mkhitarian, D. Mateus, and N. Navab, “Human skeleton tracking from depth data using geodesic distances and optical flow,” *Image and Vision Computing*, vol. 30, no. 3, pp. 217–226, 2012.
- [13] M. van Diest, J. Stegenga, H. J. Wórtche, K. Postema, G. J. Verkerke, and C. J. Lamoth, “Suitability of kinect for measuring whole body movement patterns during exergaming,” *Journal of biomechanics*, vol. 47, no. 12, pp. 2925–2932, 2014.
- [14] X. Xu and R. W. McGorry, “The validity of the first and second generation microsoft kinect for identifying joint center locations during static postures,” *Applied ergonomics*, vol. 49, pp. 47–54, 2015.
- [15] B. Kwolek and M. Kepski, “Human fall detection on embedded platform using depth maps and wireless accelerometer,” *Computer methods and programs in biomedicine*, vol. 117, no. 3, pp. 489–501, 2014.
- [16] M. Munaro, F. Basso, and E. Menegatti, “Opentrack: Open source multi-camera calibration and people tracking for rgb-d camera networks,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 75, pp. 525–538, 2016.
- [17] M. Hayat, M. Bennamoun, and A. A. El-Sallam, “An rgb-d based image set classification for robust face recognition from kinect data,” *Neurocomputing*, vol. 171, pp. 889–900, 2016.
- [18] L. Sevrin, N. Noury, N. Abouchi, F. Jumel, B. Massot, and J. Saraydaryan, “Preliminary results on algorithms for multi-kinect trajectory fusion in a living lab,” *IRBM*, vol. 36, pp. 361–366, 2015.
- [19] M. Kepski and B. Kwolek, “Fall detection on embedded platform using kinect and wireless accelerometer,” *Computer methods and programs in biomedicine*, vol. Part II, pp. 407–414, 2012.
- [20] W. S. Erdmann and R. Kowalczyk, “A personalized method for estimating centre of mass location of the whole body based on differentiation of tissues of a multi-divided trunk,” *Journal of biomechanics*, vol. 48, no. 1, pp. 65–72, 2015.

- [21] S. Zennaro, “Evaluation of microsoft kinect 360 and microsoft kinect one for robotics and computer vision applications,” Master’s thesis, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA, 2014.
- [22] S. A. Gard, S. C. Miff, and A. D. Kuo, “Comparison of kinematic and kinetic methods for computing the vertical motion of the body center of mass during walking,” *Human movement science*, vol. 22, no. 6, pp. 597–610, 2004.
- [23] Z. Lv, V. Penades, S. Blasco, J. Chirivella, and P. Gagliardo, “Comparing kinect2 based balance measurement software to wii balance board,” in *Proceedings of the 3rd 2015 Workshop on ICTs for improving Patients Rehabilitation Research Techniques*. ACM, 2015, pp. 50–53.
- [24] E. Lachat, H. Macher, M. Mittet, T. Landes, and P. Grussenmeyer, “First experiences with kinect v2 sensor for close range 3d modelling,” *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 40, no. 5, p. 93, 2015.
- [25] I. OIZ ELGORRIAGA, “Mapping. luz, sonido, espacio y percepción,” Master’s thesis, Universidad plitécnica de Valencia. Politécnica superior de Gandía, 2014.
- [26] A. Almandeel, D. H. Myszka, A. Gonzalez, and P. Fraisse, “Rapidly locating and accurately tracking the center of mass using statically equivalent serial chains,” Master’s thesis, The School of Engineering of the University of Dayton, 2015.
- [27] V. Bonnet, A. Gonzalez, C. Azevedo-Coste, M. Hayashibe, S. Cotton, and P. Fraisse, “Determination of subject specific whole-body centre of mass using the 3d statically equivalent serial chain,” *Gait & posture*, vol. 41, no. 1, pp. 70–75, 2015.
- [28] A. Dutta, A. Banerjee, and A. Dutta, “Low-cost visual postural feedback with wii balance board and microsoft kinect-a feasibility study,” in *2013 IEEE Point-of-Care Healthcare Technologies (PHT)*. IEEE, 2013, pp. 291–294.
- [29] J. P. Chuya Sumba, M. d. C. Cuenca Soto, and K. M. Delgado Guaraca, “Diseño e implementación de un sistema para el análisis del movimiento humano usando sensores kinect,” Master’s thesis, Universidad Politecnica Salesiana sede Cuenca, 2013.
- [30] A. González, M. Hayashibe, V. Bonnet, and P. Fraisse, “Whole body center of mass estimation with portable sensors: Using the statically equivalent serial chain and a kinect,” *Sensors*, vol. 14, no. 9, pp. 16 955–16 971, 2014.
- [31] T. Gill, J. M. Keller, D. T. Anderson, and R. Luke, “A system for change detection and human recognition in voxel space using the microsoft kinect sensor,” in *2011*

- IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR)*. IEEE, 2011, pp. 1–8.
- [32] J. Starck, A. Maki, S. Nobuhara, A. Hilton, and T. Matsuyama, “The multiple-camera 3-d production studio,” *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, vol. 19, no. 6, pp. 856–869, 2009.
- [33] F. P. Priego Pérez, “Reconocimiento de imágenes del lenguaje de señas mexicano,” Master’s thesis, Instituto politécnico nacional, 2016.
- [34] N. Vernadakis, V. Derri, E. Tsitskari, and P. Antoniou, “The effect of xbox kinect intervention on balance ability for previously injured young competitive male athletes: a preliminary study,” *Contacto Científico*, vol. 15, no. 3, pp. 148–155, 2014.
- [35] H. de Rosario Martínez, C. Á. Carrasco, F. F. Ros, E. M. Ripoll, W. E. C. Hernández, C. B. Pastor, R. P. Puente, and I. M. Martín, “Mejorar el equilibrio con videojuegos,” *Revista de biomecánica*, vol. 59, no. 59, pp. 31–34, 2013.
- [36] G. Saúch, M. C. Balcells, and R. Hilenó, “Valorar la capacidad de equilibrio en la tercera edad,” *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, vol. 23, no. 23, pp. 48–50, 2013.
- [37] A. González, M. Hayashibe, and P. Fraisse, “Three dimensional visualization of the statically equivalent serial chain from kinect recording,” in *2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. IEEE, 2012, pp. 4843–4846.
- [38] B. Jiang, F. Zhao, and X. Liu, “Observation-oriented silhouette-aware fast full body tracking with kinect,” *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 33, no. 1, pp. 209–217, 2014.
- [39] R. A. Clark, Y.-H. Pua, K. Fortin, C. Ritchie, K. E. Webster, L. Denehy, and A. L. Bryant, “Validity of the microsoft kinect for assessment of postural control,” *Gait & posture*, vol. 36, no. 3, pp. 372–377, 2012.
- [40] S. Li, P. N. Pathirana, and T. Caelli, “Multi-kinect skeleton fusion for physical rehabilitation monitoring,” in *2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. IEEE, 2014, pp. 5060–5063.
- [41] M. J. Derebery, “Diagnóstico y tratamiento del vértigo,” *Revista Cubana de Medicina*, vol. 39, no. 4, pp. 238–253, 2000.

- [42] H. Sarbolandi, D. Lefloch, and A. Kolb, “Kinect range sensing: Structured-light versus time-of-flight kinect,” *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 139, pp. 1–20, 2015.
- [43] Q. Zhang, M. Ye, R. Yang, Y. Matsushita, B. Wilburn, and H. Yu, “Edge-preserving photometric stereo via depth fusion,” in *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2012 IEEE Conference on*. IEEE, 2012, pp. 2472–2479.
- [44] S. Milani and G. Calvagno, “Joint denoising and interpolation of depth maps for ms kinect sensors,” in *2012 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. IEEE, 2012, pp. 797–800.
- [45] E. Ojosnegros Ramos *et al.*, “Desarrollo de un sistema para la monitorización de operaciones manuales mediante sensor kinect,” Master’s thesis, Escuela de ingenierías industriales-Universidad de Valladolid, 2014.
- [46] C. P. Valencia Andrade, “Desarrollo e implementación de un software en labview con mando inalámbrico para la educación de niños que permite la interacción de dos participantes mediante el reconocimiento de color y lectura de movimientos para el desarrollo de juegos didácticos,” Master’s thesis, Universidad Politécnica Salesiana Cede Cuenca, 2013.
- [47] A. González, M. Hayashibe, and P. Fraisse, “Estimation of the center of mass with kinect and wii balance board,” in *2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. IEEE, 2012, pp. 1023–1028.
- [48] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba, and M. Mattsson, “Systematic mapping studies in software engineering,” in *12th international conference on evaluation and assessment in software engineering*, vol. 17, no. 1. sn, 2008.
- [49] D. Knudson, *Fundamentals of biomechanics*, S. edition, Ed. Springer Science & Business Media, 2007.
- [50] S. S. Hasan, D. W. Robin, D. C. Szurkus, D. H. Ashmead, S. W. Peterson, and R. G. Shiavi, “Simultaneous measurement of body center of pressure and center of gravity during upright stance. part i: Methods,” *Gait & posture*, vol. 4, no. 1, pp. 1–10, 1996.
- [51] D. Lafond, M. Duarte, and F. Prince, “Comparison of three methods to estimate the center of mass during balance assessment,” *Journal of biomechanics*, vol. 37, no. 9, pp. 1421–1426, 2004.
- [52] F. Yang and Y.-C. Pai, “Can sacral marker approximate center of mass during gait and slip-fall recovery among community-dwelling older adults?” *Journal of biomechanics*, vol. 47, no. 16, pp. 3807–3812, 2014.

- [53] A. Ranavolo, R. Don, A. Cacchio, M. Serrao, M. Paoloni, M. Mangone, and V. Santilli, “Comparison between kinematic and kinetic methods for computing the vertical displacement of the center of mass during human hopping at different frequencies,” *Journal of applied biomechanics*, vol. 24, no. 3, pp. 271–279, 2008.
- [54] M. Saini, D. Kerrigan, M. Thirunarayan, and M. Duff-Raffaele, “The vertical displacement of the center of mass during walking: a comparison of four measurement methods,” *Journal of biomechanical engineering*, vol. 120, no. 1, pp. 133–139, 1998.
- [55] A. González, M. Hayashibe, and P. Fraisse, “Subject-specific center of mass estimation for in-home rehabilitation—kinect-wii board vs. vicon-force plate,” in *Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation*. Springer, 2013, pp. 705–709.
- [56] Z. Lv, V. Penades, S. Blasco, J. Chirivella, and P. Gagliardo, “Preprint: Comparing kinect2 based balance measurement software to wii balance board,” *arXiv preprint arXiv:1509.06783*, vol.-, pp. 1–4, 2015.
- [57] Š. Obdržálek, G. Kurillo, F. Ofli, R. Bajcsy, E. Seto, H. Jimison, and M. Pavel, “Accuracy and robustness of kinect pose estimation in the context of coaching of elderly population,” in *2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. IEEE, 2012, pp. 1188–1193.
- [58] M. Kepski, B. Kwolek, and I. Austvoll, “Fuzzy inference-based reliable fall detection using kinect and accelerometer,” in *International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing*. Springer, 2012, pp. 266–273.
- [59] E. Sirlin, “Física de la luz,” Universidad de Buenos Aires, Tech. Rep., 2006.
- [60] L. J. Vandergriff *et al.*, “Nature and properties of light,” in *Fundamentals of photonics*. Science Applications International Corporation McLean, Virginia, 2008.
- [61] E. Sirlin, “Herramientas de la luz,” Universidad de Buenos Aires, Tech. Rep., 2006.
- [62] P. Battle, “Propiedades de la luz,” apuntes de fotografía I.
- [63] L. Castelo Sardina, “Usos no normativos del lenguaje fotográfico,” Ph.D. dissertation, Universidad Complutense de Madrid, 2001.
- [64] M. J. Langford and M. Langford, *La fotografía paso a paso*, H. Blume, Ed. Ediciones AKAL, 1990.
- [65] J. Hedgecoe, *Manual de técnica fotográfica*, H. Blume, Ed. Ediciones AKAL, 1992.

- [66] L. C. O. Castro, “Fotografía,” Universidad Nacional Abierta y a Distancia -UNAD, Tech. Rep., 2011.
- [67] J. C. Samperio, M. E. L. Dávila, A. L. Esqueda, and O. V. Monroy, *La actividad física y el deporte en el adulto mayor*, 1ra, Ed. Bases fisiológicas, -.
- [68] D. Carrasco Bellido and D. Carrasco Bellido, “Biomecánica de la actividad física y del deporte,” Instituto nacional de educación física, Universidad Politécnica de Madrid,, Tech. Rep., 2002.
- [69] G. R. Suarez, M. G. Davila, and P. P. Puche, “Análisis de factores biomecánicos y comportamentales relacionados con la efectividad del uchi mata, ejecutado por judokas de alto rendimiento,” Ph.D. dissertation, Universidad de Granada, 2002.
- [70] J. McLester and P. S. Pierre, *Applied biomechanics: concepts and connections*. Cengage Learning, 2007.
- [71] J. F. López, X. Remesar, and M. Alemany, “Ventajas teóricas del índice de rohrer (p/a3) sobre el índice de masa corporal (p/a2) para la estimación de la adiposidad en humanos,” *Rev Esp Obes*, vol. 3, no. 1, pp. 47–55, 2005.
- [72] M. Martínez-Zarzuela, F. Díaz-Pernas, A. T. de Pablos, F. Perozo-Rondón, M. Antón-Rodríguez, and D. González-Ortega, “Monitorización del cuerpo humano en 3d mediante tecnología kinect,” *Ministerio deficiencia e innovación (1: 15, Febrero: Valladolid España). Memorias. Departamento de teoría de la señal y Comunicaciones Universidad de Valladolid*, vol. 6, p. 3, 2011.
- [73] A. a. E. Contreras, “Caracterización del perfil antropométrico estudiantil de la universidad militar nueva granad sede calle 100 y campus cajicá mediante el uso de medios virtuales,” Master’s thesis, Programa de ingeniería industrial, facultad de ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, 2013.
- [74] L. Lorenti, “Segmentación espectral de imágenes obtenidas con cámaras de tiempo de vuelo,” Ph.D. dissertation, Facultad de Informática, 2014.
- [75] L. E. M. Castro and P. A. M. Pérez, “Programación de órdenes a un robot lego mediante interfaz natural,” Master’s thesis, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2014.
- [76] Á. Loras Navas, “Percepción de la actividad de un conductor mediante cámaras 3d,” Master’s thesis, Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, 2013.

- [77] A. Murillo Ruiz and M. Montserrat Cantos, “Aplicación telemática para uso terapéutico utilizando kinect para windows y sdk v. 1.6,” Master’s thesis, Universidad Politecnica de Cataluña, 2012.
- [78] B. Galna, G. Barry, D. Jackson, D. Mhiripiri, P. Olivier, and L. Rochester, “Accuracy of the microsoft kinect sensor for measuring movement in people with parkinson’s disease,” *Gait & posture*, vol. 39, no. 4, pp. 1062–1068, 2014.
- [79] C. Guisande Gonzalez, A. Vaamonde Liste, and A. Barreiro Felpeto, *Tratamiento de datos con R, STATISTICA y SPSS*. Diaz de Santos, 2013.
- [80] E. Pierrot-deseilligny and D. Burke, *The Circuitry of the Human Spinal Cord: Its Role in Motor Control and Movement Disorders*, 1st ed. New York, USA: Cambridge University Press, 2005.