

**ESTRUCTURA SOPORTE PARA EL SISTEMA DE CAPTURA DE MOVIMIENTO  
IMPULSE X2 PHASESPACE PARA SENA TECNOPARQUE. DISEÑO Y  
CONSTRUCCIÓN.**

**CLARA NATALIA PATIÑO ESTEPA  
SERGIO ANDRÉS MERCHÁN MONROY**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA**

**2016**

**ESTRUCTURA SOPORTE PARA EL SISTEMA DE CAPTURA DE MOVIMIENTO  
IMPULSE X2 PHASESPACE PARA SENA TECNOPARQUE. DISEÑO Y  
CONSTRUCCIÓN.**

**CLARA NATALIA PATIÑO ESTEPA**

**SERGIO ANDRÉS MERCHÁN MONROY**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de  
Diseñador Industrial.**

**Director:**

**LUIS EDUARDO BAUTISTA ROJAS**

**Diseñador Industrial, M.Sc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS**

**ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL**

**BUCARAMANGA**

**2016**

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	17
1. PRESENTACIÓN DE PROYECTO .....	19
1.1. TÍTULO .....	19
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	19
1.3. OBJETIVOS.....	20
1.3.1 Objetivo general.....	20
1.3.2 Objetivos específicos .....	20
1.4. ANÁLISIS DE USUARIOS .....	21
1.4.1. Tipificación de la población.....	21
1.4.2. Usuarios primarios .....	21
1.4.3. Usuarios secundarios .....	21
1.4.4. Usuario arquetipo .....	21
1.5 ALCANCE DEL PROYECTO .....	23
1.6 GRADO DE INNOVACIÓN .....	23
2. METODOLOGÍA PROYECTUAL.....	25
2.1 PLANEACIÓN.....	26
2.1.1 Marco teórico .....	26
2.1.2 Estado del arte .....	26
2.1.3. Determinación de factores ambientales.....	27
2.1.4. Declaración de la misión: .....	28
2.2 DESARROLLO DEL CONCEPTO .....	28

2.2.1 Identificación de necesidades.....	28
2.2.2 Interpretación de necesidades.....	29
2.2.3 Especificaciones del producto .....	29
2.2.4 Generación de concepto .....	30
2.2.5 Desarrollo de alternativas .....	30
2.2.6 Evaluación de alternativas .....	30
2.3 DISEÑO DE DETALLE .....	30
2.3.1 Determinación de geometría y materiales .....	31
2.3.2 Determinación de acabados .....	31
2.3.3 Revisión del proyecto .....	32
2.4 MONTAJE .....	32
2.4.1 Operaciones de montajes .....	32
2.4.2 Alternativas de montaje .....	32
2.4.3 Pruebas finales y resultados: .....	32
3. PLANEACIÓN.....	33
3.1 MARCO TEÓRICO .....	33
3.2 ESTADO DEL ARTE .....	41
3.2.1 Soportes para cámaras infrarrojas.....	41
3.2.2 Acondicionamiento de espacios.....	45
3.3 DETERMINACIÓN DE FACTORES AMBIENTALES .....	49
3.3.1 Análisis de resultados de marco teórico, estado del arte y determinación de factores ambientales.....	57
3.3.2 Prueba inicial de factores ambientales para captura de movimiento .....	58
3.4 DECLARACIÓN DE LA MISIÓN.....	61

4. DESARROLLO DEL CONCEPTO.....	63
4.1 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES.....	63
4.1.1 Protocolo entrevista .....	63
4.2 INTERPRETACIÓN DE NECESIDADES.....	63
4.2.1 Jerarquización y agrupación de requerimientos FURPS .....	66
4.3 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO .....	69
4.4 GENERACIÓN DE CONCEPTO .....	72
4.4.1 Desplazamiento vertical de cámaras.....	68
4.4.2 Fijación del acople de las cámaras a la estructura .....	69
4.4.3 Configuración estructural del área de captura .....	69
4.5 DESARROLLO DE ALTERNATIVAS .....	71
4.5.1 Alternativa 1 .....	71
4.5.2 Alternativa 2 .....	74
4.5.3 Alternativa 3 .....	78
4.6 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	82
4.6.1 Protocolo de evaluación de alternativas .....	82
4.6.2 Presentación de resultados.....	83
5. DISEÑO DE DETALLE .....	86
5.1 PISO.....	87
5.1.1 Determinación de geometrías, materiales y procesos del piso .....	89
5.2 RECUBRIMIENTO (TECHO Y LATERALES) .....	93
5.3 ESTRUCTURA .....	95
5.4 DETERMINACIÓN DE ACABADOS.....	102
5.5 ANÁLISIS ESTRUCTURALES .....	103

5.5.1 Eje de 5/16" (ubicado en tubos para bases y correderas) .....	103
5.5.2 Eje central de mecanismo de tijera .....	105
5.5.3 Tubos de la base superior .....	107
5.6 REVISIÓN DEL PROYECTO .....	108
6. MONTAJE .....	112
6.1 OPERACIONES DE MONTAJE .....	112
6.2 ALTERNATIVAS DE MONTAJE .....	115
6.2.1 Alternativa para captura de movimiento de cuerpo entero .....	115
6.3 PRUEBAS FINALES Y RESULTADOS .....	117
6.3.1 Prueba final de factores ambientales para captura de movimiento .....	118
6.3.2 Análisis condiciones de luz y vibración: prueba inicial vs. Prueba final .....	120
6.3.3 Pruebas de captura de movimiento .....	121
7. CONCLUSIONES .....	128
BIBLIOGRAFÍA .....	131

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1, Metodología escogida.....	26
Ilustración 2, Planeación .....	26
Ilustración 3, Proceso para determinar los factores ambientales que determinan una captura de movimiento.....	27
Ilustración 4, Desarrollo del concepto .....	28
Ilustración 5, Diseño de detalle .....	30
Ilustración 6, Montaje .....	32
Ilustración 7, Cámara infrarroja .....	33
Ilustración 8, Ejemplo de captura de movimiento para la película The Polar Express .....	34
Ilustración 9, Hardware sistema de captura Impulse X2 PhaseSpace a) Servidor central b) Cámara infrarroja c) LED Driver d) LED Base Station e) Marcadores LED infrarrojas f) Barra de calibración.....	38
Ilustración 10, Traje Impulse X2 PhaseSpace.....	38
Ilustración 11, El programa Motion Master mostrando la barra de calibración y los ángulos de captura de las cámaras en pantalla. ....	39
Ilustración 12, Flujo de trabajo para realizar una captura de movimiento.....	40
Ilustración 13, Wall mount – right angle.....	42
Ilustración 14, Vitek VTHTM8 wall mounting bracket .....	42
Ilustración 15, Carril de aluminio.....	43
Ilustración 16, Flat Wall-Mount Set.....	44
Ilustración 17, Camera Stand 10 ft. ....	45
Ilustración 18, Laboratorio producción digital y MOCAP – Universidad de Granada .....	46
Ilustración 19, Laboratorio acondicionado por NaturalPoint.....	48
Ilustración 20, Configuración de dos cámaras .....	51
Ilustración 21, Oclusión de marcadores .....	51
Ilustración 22, Configuración de cuatro cámaras. ....	52

Ilustración 23, Configuración de ocho cámaras .....	52
Ilustración 24, Disposición de 12 cámaras ubicadas en cuadrantes .....	53
Ilustración 25, Configuración de cámaras para captura de movimiento facial .....	55
Ilustración 26, Color del recinto de captura de movimiento .....	57
Ilustración 27, Disposición actual del sistema de captura de movimiento Impulse X2 PhaseSpace .....	59
Ilustración 28, Datos obtenidos de luz y vibración en la disposición actual de la zona de captura. ....	60
Ilustración 29, Mapa mental del proyecto .....	73
Ilustración 30, Estructura octogonal expandida.....	71
Ilustración 31, Estructura octogonal cerrada .....	72
Ilustración 32, Detalle del módulo a) Tubo frontal b) Tubos laterales con correderas c) Tubo posterior d) Acople con cámara.....	72
Ilustración 33, Cobertura del sistema y detalle del sostenimiento de las láminas y del techo.....	73
Ilustración 34, Piso octagonal en espuma de poliuretano .....	74
Ilustración 35, Unión entre las piezas del piso octagonal .....	74
Ilustración 36, Despliegue de estructura basada en el biombo .....	75
Ilustración 37, Submarco que permite establecer la estructura como octágono. ...	75
Ilustración 38, Diagrama de despliegue de la alternativa 2.....	76
Ilustración 39, Acople de la cámara fijado al tubo del submarco por medio de un pasador .....	76
Ilustración 40, Paneles laterales de la alternativa 2 .....	77
Ilustración 41, Piso octagonal en espuma de poliuretano .....	78
Ilustración 42, Unión entre las piezas del piso octagonal .....	78
Ilustración 43, Estructura octogonal armada con módulos independientes .....	79
Ilustración 44, Despliegue modular basado en el funcionamiento de una navaja ..	79
Ilustración 45, Detalle cámara sobre acople y fijada por freno .....	80
Ilustración 46, Recubrimiento propuesto para la alternativa 3 .....	81
Ilustración 47, Piso octagonal en espuma de poliuretano .....	81

Ilustración 48, Unión entre las piezas del piso octagonal .....	82
Ilustración 49, Mapa mental de estructuración de la alternativa final .....	86
Ilustración 50, Propuesta escogida para el seccionamiento y plegado del piso del área de captura .....	89
Ilustración 51, Deformación en ejes de tubos para base y correderas. ....	104
Ilustración 52, Desplazamiento en ejes de tubos para base y correderas .....	104
Ilustración 53, Factor de seguridad de eje de tubos para base y correderas. ....	105
Ilustración 54, Factor de seguridad de eje de tubos para base y correderas. ....	105
Ilustración 55, Desplazamiento en eje central de mecanismo de tijera .....	106
Ilustración 56, Factor de seguridad del eje central del mecanismo de tijera .....	106
Ilustración 57, Deformación en tubo de la base superior.....	107
Ilustración 58, Desplazamiento en tubo de la base superior.....	107
Ilustración 59, Factor de seguridad de tubo en la base superior.....	108
Ilustración 60, Configuración de estructura para captura de movimiento cuerpo entero. ....	116
Ilustración 61, Configuración de piso para captura de movimiento de cuerpo entero. ....	116
Ilustración 62, Configuración de estructura para alternativa de captura de movimiento facial.....	117
Ilustración 63, Configuración de piso para alternativa de captura de movimiento facial.....	117
Ilustración 64, Disposición del sistema de captura de movimiento con la estructura propuesta .....	118
Ilustración 65, Datos obtenidos de luz y vibración en la nueva disposición de la zona de captura. ....	119
Ilustración 66, Gráfica de dispersión: medición del flujo lumínico en la misma ubicación de cada cámara .....	120
Ilustración 67, Gráfica de dispersión: medición de la vibración en cuatro puntos extremos fuera del área de captura de movimiento .....	121
Ilustración 68, Preparación de volumen de captura .....	122

Ilustración 69, Registro realizado por cámara infrarroja en área de captura sin recubrimiento.....	123
Ilustración 70, Imágenes de capturas de movimiento: a) estática sin recubrimiento, b) estática sin recubrimiento, c) saltos sin recubrimiento y d) saltos con recubrimiento.....	123
Ilustración 71, Dispersión de datos cabeza – con y sin estructura .....	125
Ilustración 72, Dispersión de datos antebrazo izquierdo – con y sin estructura ...	125
Ilustración 73, Dispersión de datos antebrazo derecho – con y sin estructura .....	126
Ilustración 74, Dispersión de datos muslo izquierdo – con y sin estructura .....	126
Ilustración 75, Dispersión de datos muslo derecho – con y sin estructura .....	127

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1, Ventajas y desventajas de la captura de movimiento óptica .....	36
Tabla 2, Declaración de la misión del proyecto .....	61
Tabla 3, Necesidades interpretadas .....	64
Tabla 4, Tabla de jerarquización y agrupación de requerimientos. ....	67
Tabla 5, Tabla de especificaciones del producto .....	69
Tabla 6, Principios usados para el sistema de desplazamiento vertical de las cámaras en la elaboración de alternativas .....	68
Tabla 7, Principios usados para el sistema de acople de las cámaras en la elaboración de alternativas .....	69
Tabla 8, Principios usados para la configuración del área de captura de movimiento .....	70
Tabla 9, Resumen de resultados de la evaluación de alternativas .....	83
Tabla 10, Propuestas de seccionamiento para piso del área de captura .....	87
Tabla 11, Disposición de cintas de velcro para unión entre módulos .....	90
Tabla 12, Tabla resumen para fabricación del piso: formas, materiales y cantidades.....	90
Tabla 13, Proceso de manufactura del piso.....	92
Tabla 14, Tabla resumen para la fabricación de los laterales y del techo .....	94
Tabla 15, Proceso de manufactura de laterales y techo.....	94
Tabla 16, Materiales y manufactura de la estructura .....	95
Tabla 17, Recubrimientos de la estructura .....	102
Tabla 18, Costos de piezas y materiales .....	108
Tabla 19, Producción y plazos de entrega .....	111
Tabla 20, Operaciones de montaje (en fabricación y para uso) y desmontaje. ....	112

## RESUMEN

**TÍTULO:** ESTRUCTURA SOPORTE PARA EL SISTEMA DE CAPTURA DE MOVIMIENTO IMPULSE X2 PHASESPACE PARA SENA TECNOPARQUE. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.<sup>1</sup>

**AUTORES:** PATIÑO Estepa Clara Natalia, MERCHÁN Monroy Sergio Andrés. <sup>2</sup>

**PALABRAS CLAVE:** Cámara infrarroja, Captura de movimiento, Condiciones del entorno para captura de movimiento, Seguimiento, Animación, Iluminación.

La red Tecnoparque Colombia es un programa de innovación tecnológica del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, que funciona como plataforma aceleradora de proyectos enfocados en alguna de estas cuatro líneas: Electrónica y Telecomunicaciones, Tecnologías Virtuales, Ingeniería y Diseño y Biotecnología – Nanotecnología.

Para el crecimiento de la línea de desarrollo de Tecnologías Virtuales, Tecnoparque Nodo Bucaramanga adquirió el sistema de captura de movimiento Impulse X2 PhaseSpace versión básica, que cuenta con ocho cámaras infrarrojas, cuyo objetivo es capturar el movimiento de una persona que usa un traje con marcadores de luz.

Aunque este sistema es muy útil para el desarrollo de proyectos relacionados con videojuegos, animación con modelado 3D, evaluación de puestos de trabajo y estudios biomecánicos, no está teniendo un aprovechamiento adecuado por diversas razones, como es la falta de un espacio adecuado para garantizar la calidad de la captura de movimiento.

A lo anterior se le suma la inexistencia en el mercado de una solución que pueda abordar los problemas asociados a la calidad de la captura y que satisfaga la necesidad de transportabilidad. Aunque hay empresas dedicadas al acondicionamiento de espacios fijos para este tipo de equipos, SENA Tecnoparque no puede adquirir estos servicios debido a que necesitan que las condiciones de captura se mantengan independientemente del sitio en el cual la estructura se instale.

Por ese motivo, se desarrolló una propuesta de estructura transportable que permita el aprovechamiento el sistema de captura de movimiento Impulse X2 PhaseSpace y que disponga las condiciones ambientales necesarias para hacer una efectiva captura de movimiento.

---

<sup>1</sup> Proyecto de grado.

<sup>2</sup> Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director: D.I. BAUTISTA, Luis Eduardo.

## ABSTRACT

**TITLE:** SUPPORT STRUCTURE FOR IMPULSE X2 PHASESPACE MOTION CAPTURE SYSTEM FOR SENA TECNOPARQUE. DESIGN AND CONSTRUCTION.<sup>3</sup>

**AUTHORS:** PATIÑO Estepa Clara Natalia, MERCHÁN Monroy Sergio Andrés.<sup>4</sup>

**KEYWORDS:** Infrared camera, Motion capture, Ambient conditions for motion capture, tracking, animation, lighting.

Tecnoparque Colombia is a technological innovation program created by Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, which works as accelerator platform for projects focused on these four lines: Electronics and Telecommunications, Virtual Technology, Engineering and Design and Biotechnology - Nanotechnology.

Tecnoparque Nodo Bucaramanga bought the basic version of Impulse X2 PhaseSpace motion capture system, consists of eight infrared cameras that capture movement of a person wearing a suit with light markers.

Although the system is so useful for the development of projects related to videogames, 3D animation modeling, assessment of workplaces and biomechanical studies, it isn't having a proper utilization for reasons such as lack of adequate space to ensure quality in motion capture.

In addition to the above, there is no solution in the market that can address problems associated with the capture quality and satisfy the need for portability. Although there are companies dedicated to the conditioning of permanent spaces for motion capture, SENA Tecnoparque can not acquire this service because needs that captures conditions are retained regardless of the site where the structure is installed.

For this reasons, a proposal of transportable structure was developed and it allows use Impulse X2 PhaseSpace motion capture system with environmental conditions necessary for an effective motion capture.

---

<sup>3</sup> Degree Project.

<sup>4</sup> Faculty of Physical-Mechanical engineerings. Industrial design school. Director: I.D. BAUTISTA, Luis Eduardo.

## INTRODUCCIÓN

La Red Tecnoparque del SENA es un programa que actúa como apoyo y acelerador de proyectos de base tecnológica para generar productos y servicios que puedan ser desarrollados dentro de una de estas cuatro líneas: Electrónica y Telecomunicaciones, Tecnologías Virtuales, Ingeniería y diseño y Biotecnología nanotecnología.

La línea de Tecnologías Virtuales se centra en proyectos relacionados con aplicaciones móviles, desarrollo de aplicaciones para televisión digital terrestre, inteligencia artificial y computacional, realidad virtual y simulación, animación digital, videojuegos, producción de contenidos 2D y 3D y desarrollo de software. Para desarrollar este tipo de proyectos, SENA Tecnoparque nodo Bucaramanga adquirió en 2010 el sistema de captura de movimiento Impulse X2 PhaseSpace.

Este equipo funciona actualmente bajo condiciones generadas por una instalación artesanal realizada desde su compra y que se ha mantenido hasta el momento. Dichas condiciones difieren con las que sugiere el fabricante<sup>5</sup> (PhaseSpace Inc., 2007), donde se recomienda controlar la iluminación y la disposición de las cámaras.

La falta de aislamiento del sistema de las fuentes de luz solar externas en esta instalación artesanal, la disposición de cámaras sobre trípodes a una misma altura y la distorsión generada por la vibración que hace sobre el piso el usuario al caminar cerca de la zona de captura, alteran las condiciones recomendadas por el fabricante para garantizar la calidad de las capturas realizada con el sistema y dan origen a problemas en malas mediciones y oclusión de marcadores en las mismas. Por esta razones, SENA Tecnoparque nodo Bucaramanga requiere

---

<sup>5</sup> PhaseSpaceInc. PhaseSpace Impulse: Camera System. User's Manual. 2010.

controlar las condiciones ambientales de las capturas de movimiento realizadas con el sistema Impulse X2 PhaseSpace.

Dado lo anterior, se consideró que las condiciones del entorno para realizar la captura con el sistema Impulse X2 PhaseSpace, podían ser mejoradas mediante el diseño de una estructura soporte con la cual se puedan controlar las condiciones ambientales de captura y que pueda ser transportable para ser adecuado en el espacio que se tenga a disposición. Para el desarrollo de este proyecto, se utilizaron la metodología planteada por Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger en el libro “Diseño y desarrollo de productos”<sup>6</sup>, para la etapa de desarrollo de concepto y metodología complementaria DFMA (Diseño para manufactura y el ensamblaje), enfocada en las etapas avanzadas del proceso de Diseño.

En el presente documento, se encuentra descrito el proceso de diseño y construcción de la estructura transportable que soporta al sistema de captura de movimiento, al mismo tiempo que garantiza las condiciones para una captura efectiva. Mediante una revisión de literatura científica y pruebas preliminares, se identificaron las variables que hacen posible controlar estas condiciones, para así, junto a las necesidades expresadas por el equipo de la línea virtual de Tecnologías Virtuales de SENA Tecnoparque, establecer los requerimientos y parámetros a tener en cuenta en el proceso de diseño de concepto y elaboración de alternativas. Posteriormente, la alternativa escogida fue sometida a los procesos de diseño de materialización, diseño de detalle y montaje para presentar un modelo funcional. Al final, se realizaron pruebas con el modelo para comparar las condiciones que proporciona la estructura propuesta con las que estaban dispuestas anteriormente, para así validar la mejora deseada.

---

<sup>6</sup> ULRICH, Karl y Eppinger, S. *Diseño y desarrollo de productos* (Cuarta ed.). México: McGraw-Hill/Interamericana. 2009

# 1. PRESENTACIÓN DE PROYECTO

## 1.1. TÍTULO

Estructura soporte para el sistema de captura de movimiento Impulse X2 PhaseSpace para SENA Tecnoparque. Diseño y Construcción.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

SENA Tecnoparque nodo Bucaramanga invirtió en el 2010 la suma de 355 millones de pesos en la adquisición del sistema de captura de movimiento Impulse X2 PhaseSpace, pero desde ese entonces y en entrevista con el Gestor de Tecnologías Virtuales, Román Alexis Suárez, el sistema de captura tiene un uso promedio de 2 veces por mes, dado el poco conocimiento que hay sobre su existencia y utilidad entre la ciudadanía y por ende, son pocos los proyectos que se presentan a SENA Tecnoparque que requieran hacer uso del traje y del sistema.

La adaptación del lugar donde fue instalado el sistema de captura de movimiento no corresponde con las recomendaciones del fabricante, no se aseguraron las mejores condiciones de aislamiento de fuentes de luz, ubicación y distribución de cámaras y área de captura, y esto origina problemas en la precisión de la captura, oclusión de marcadores de luz y hace al sistema más propenso a desconfigurarse, dificultando lograr una buena captura de movimiento <sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> JENSENIUS, Alexander; NYMOEN, Kristian; SKOGSTAD, Ståle; VOLDSUND, Arve. A Study of the Noise-Level in Two Infrared Marker-Based Motion Capture Systems Copenhagen. 2012.

Con este equipo y las condiciones idóneas para su funcionamiento, SENA Tecnoparque en su línea de Tecnologías Virtuales, pueden realizar proyectos regionales como videojuegos, modelado de personajes en 3D para producciones audiovisuales, evaluaciones de puestos de trabajo, análisis de marcha, análisis biomecánicos, aplicaciones con realidad virtual, investigaciones en el área de fisioterapia, entre otras.

La inversión hecha en este sistema con baja frecuencia de uso, junto a la gran utilidad que puede representar para los proyectos que son presentados a SENA Tecnoparque, hacen indispensable que el nodo Bucaramanga cuente con una estructura en el que se puedan controlar las condiciones adecuadas de captura para usar el sistema de captura de movimiento Impulse X2 PhaseSpace. A su vez, si este sistema, que es único en la región, puede ser fácilmente desmontable y se puede trasladar para ser instalado en otro lugar, se puede aumentar su frecuencia de uso considerablemente.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar una estructura de soporte para el sistema de captura de movimiento Impulse X2 PhaseSpace para SENA Tecnoparque que permita mejorar las condiciones de captura.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Identificar las condiciones ambientales que influyen de manera directa en la calidad de captura de movimiento con el sistema Impulse X2 PhaseSpace, mediante revisión de literatura científica.
- Proponer una estructura que permita el control de las condiciones de captura, aplicando las metodologías de desarrollo de productos Karl Ulrich y DFMA para el ensamblaje rápido.

- Comparar las condiciones de la estructura propuesta, con la existente actualmente, con el fin de validar la mejora de las condiciones de captura, mediante prueba de comparación.

## **1.4. ANÁLISIS DE USUARIOS**

### **1.4.1. Tipificación de la población**

La población que está definida para este proyecto debes estar capacitada en funcionamiento estructural y de software del sistema de captura de movimiento, debido a que una captura de buena calidad depende de la buena adecuación de ambos aspectos.

### **1.4.2. Usuarios primarios**

Son aquellos gestores de las áreas de tecnologías virtuales pertenecientes a SENA Tecnoparque, que tienen a su disposición la estructura, que se encargan de su adecuado ensamblaje y de dirigir las capturas de movimiento de acuerdo a las necesidades de la tarea a realizar. Por esta razón, a ellos se les debe llegar con un lenguaje conceptual claro que facilite la correcta postura de los elementos estructurales, complementado con capacitaciones.

### **1.4.3. Usuarios secundarios**

Son las personas que tienen contacto directo en la etapa de captura de movimiento, más específicamente los ingenieros, diseñadores y técnicos encargados de operar el laboratorio a través del software, así como también la persona que usan el traje e interactúan dentro del área de captura.

### **1.4.4. Usuario arquetipo**

Modelar un usuario arquetipo consiste en definir perfiles de usuarios con base a atributos comunes. Los atributos sobre los que se hace la

clasificación dependen de la información que se tenga de la audiencia, pero normalmente se tratan de atributos tales como necesidades de información, condiciones de acceso, experiencia y conocimientos. Los arquetipos de usuarios consiguen que el diseñador tenga en mente a un usuario 'real', con limitaciones, habilidades y necesidades reales<sup>8</sup>. (Cooper, 1999).

Jorge tiene 28 años, es ingeniero de sistemas y trabaja desde hace 2 años como gestor de tecnologías virtuales en el nodo Bucaramanga de SENA Tecnoparque. Su labor en dicha institución, es la de dirigir y asesorar los proyectos vinculados a Tecnoparque en las áreas de tecnología y computación, como animación, desarrollo de software, aplicativos web y móviles, entre otros. Jorge, además de tener experiencia en desarrollo de plataformas web, también recibió una capacitación en el software del sistema de captura de movimiento Impulse X2 PhaseSpace y de la disposición del entorno para la realización de las capturas. Además, es una persona con actitud de liderazgo para guiar al equipo de trabajo que tenga a su cargo, en el proceso de armado de la estructura y del manejo del sistema de captura.

Antes de realizar una captura con el sistema Impulse X2 PhaseSpace, Jorge y su equipo, definen las características de la captura de movimiento que quieren obtener, para establecer los parámetros técnicos del sistema y así proceder a adaptar el entorno y la estructura con los cuales van a realizarla. Además, su participación fue clave al momento de recolectar necesidades para el desarrollo de la estructura.

Aunque las personas de los proyectos inscritos a SENA Tecnoparque y los semilleros de investigación de universidades pueden solicitar el uso del

---

<sup>8</sup> COPPER, Alan. The Inmates Are Running the Asylum: Why High-Tech Products Drive Us Crazy and How to Restore the Sanity. SAMS. 1999

sistema de captura de movimiento Impulse X2 PhaseSpace y su estructura, Jorge es la única persona autorizada para controlar ambos dispositivos.

Jorge es una persona interesada en temas de tecnologías virtuales y cuenta con un dispositivo móvil en el cual, vía internet, se informa diariamente acerca de los avances en esta área que sean aplicables en la línea de desarrollo que tiene a cargo.

## **1.5 ALCANCE DEL PROYECTO**

Se diseñará y construirá un modelo funcional de estructura de soporte para el sistema de captura de movimiento Impulse X2 PhaseSpace que controle las condiciones ambientales que influyen en la captura, con el objetivo de mejorar las condiciones actuales.

Durante el proyecto se realizarán propuestas que cumplan con condiciones ambientales para la captura de movimiento, planos de la propuesta elegida, construcción de un modelo funcional y finalmente, dos pruebas finales: una para comprobar la facilidad de uso del sistema y la otra de carácter técnico, para verificar la mejora obtenida de las condiciones de captura.

Al haber definido un modelo final, se realizará la construcción de este, se establecerán cartas de producción para posterior réplica y se hará la documentación del diseño realizado.

## **1.6 GRADO DE INNOVACIÓN**

Actualmente, no existen soluciones móviles para realizar capturas de movimiento, solo acondicionamiento de recintos de acuerdo a las condiciones necesarias para estas. Por esta razón es pertinente realizar una propuesta con la que se puedan mejorar y controlar las condiciones de luz, área de captura y

posición y orientación de cámaras y que al mismo tiempo, pueda ser desmontable y transportable para instalar en otro lugar. El sistema de captura de movimiento Impulse X2 PhaseSpace es único en la región, y tener la posibilidad de poder llevarlo a otros lugares, aumenta su frecuencia utilización y su aprovechamiento.

De igual manera, el resultado puede ser aplicable a otros sistemas de captura de movimiento que funcione bajo el mismo principio técnico de rastreo y captura.

## 2. METODOLOGÍA PROYECTUAL

Para la estructuración de las fases del proyecto, se escogió la metodología planteada por Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger en el libro “Diseño y desarrollo de productos”<sup>9</sup>, la cual se divide en seis fases: Planeación, Desarrollo de concepto, Diseño a nivel sistema, Diseño de detalle, Pruebas y refinamiento e Inicio de producción. Esta metodología describe la fase de desarrollo de concepto en su totalidad, pero no profundiza en las fases restantes. Por este motivo, es necesario utilizar una metodología complementaria enfocada en las etapas avanzadas del proceso de Diseño. El método escogido es DFMA (Diseño para manufactura y el ensamblaje), que es una herramienta que reúne las características de las metodologías DFA (Design for Assembly) y DFM (Design for Manufacture). Estas metodologías y herramientas fueron introducidas en la industria por el Dr. Boothroyd y el Dr. Dewhurst en 1983. De hecho, ellos son los propietarios de la marca registrada “DFMA”<sup>10</sup>.

De la metodología planteada por Ulrich y Eppinger, se aplicaron los pasos relativos a la Planeación del producto y Desarrollo de concepto. Respecto a la metodología DFMA, se utilizaron los procesos propuestos respecto a Diseño de detalle y Montaje, de la Guía Metodológica DFMA propuesta por la Fundación Prodintec<sup>11</sup>.

---

<sup>9</sup> ULRICH, EPPINGER, Op. Cit.

<sup>10</sup> BOOTHROYD, Geoffrey; DEWHURST, Peter; KNIGHT, Winston. “Product Design for Manufacture and Assembly, 2<sup>nd</sup> Edition”, Marcel Dekker, New York. 2002.

<sup>11</sup> FERNÁNDEZ, Jesús; LÓPEZ, Víctor; SANCHEZ, Rubén; ANTUÑA, Rosa. *DFMA Diseño para la fabricación y ensamblaje*: Fundación Prodintec. 2010.

**Ilustración 1, Metodología escogida.**



## 2.1 PLANEACIÓN

**Ilustración 2, Planeación**



### 2.1.1 Marco teórico

En esta etapa se recopiló la información sobre el proceso de realización de capturas de movimiento con cámaras infrarrojas y el equipo necesario para realizarlas, para así poder comprender mejor tanto el problema a analizar como su contexto.

### 2.1.2 Estado del arte

Se hizo una revisión acerca de la preparación de espacios para realizar capturas de movimiento y sobre soportes para cámaras que cumplen dicha labor.

La consulta de información teórica publicada en libros, revistas científicas y en bases de datos de artículos científicos, se realizó utilizando como palabras clave de búsqueda los siguientes términos:

- Cámara Infrarroja (infrared camera).

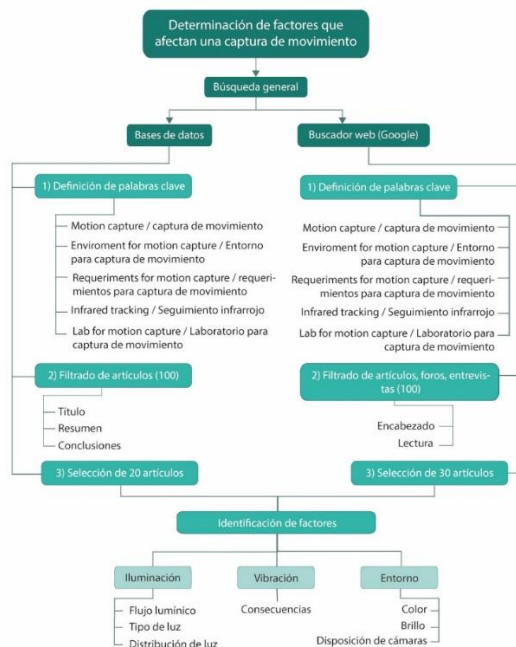
- Soportes para cámaras de captura de movimiento (mocap camera support).
- Captura de movimiento (motion capture).
- Condiciones del entorno para captura de movimiento (environmental conditions for motion capture).
- Laboratorio captura de movimiento (mocap lab).
- Seguimiento (tracking).

La información encontrada y seleccionada, se creó marco referencial en el que se detallan las características, ventajas y desventajas de las soluciones y así, determinar su pertinencia y proponer alternativas de diseño de una manera más eficiente y ordenada.

### 2.1.3. Determinación de factores ambientales

Mediante revisión de literatura, se determinan cuáles son los factores ambientales principales que pueden afectar a la captura de movimiento (Fig. 3).

**Ilustración 3, Proceso para determinar los factores ambientales que determinan una captura de movimiento**



Utilizando palabras claves, se realizaron búsquedas de información tanto en bases de datos como en el buscador web google. A partir de cada una de las dos búsquedas, se filtraron los artículos que hicieran referencia a las condiciones ambientales que son determinantes para realizar una captura de movimiento. Luego de esta identificación, se determinaron las características a tener en cuenta en cada factor.

Luego de esto, se hizo una prueba para medir cuantitativamente el estado actual de las condiciones que afectan la captura. Esta prueba se repitió al final del proyecto para validar la mejoría que brinda la estructura propuesta.

#### **2.1.4. Declaración de la misión:**

Se definieron los factores de mayor importancia para el desarrollo de la estructura, una breve descripción del proyecto, propuesta de valor, público objetivo, suposiciones y restricciones.

## **2.2 DESARROLLO DEL CONCEPTO**

*Ilustración 4, Desarrollo del concepto*



#### **2.2.1 Identificación de las necesidades:**

Se realizaron entrevistas a los usuarios primarios y secundarios, quienes como se explicó anteriormente, son los encargados del ensamblaje y operación del sistema respectivamente. Estas entrevistas tuvieron como objetivo capturar la voz del usuario, y con eso, determinar los requerimientos con base a los cuales se realizarán las alternativas de diseño. Las entrevistas fueron realizadas a dos gestores de la línea de Tecnologías Virtuales de SENA Tecnoparque, y se les preguntó de forma

abierta, acerca de las necesidades, deseos o problemas que encuentra al hacer uso del sistema Impulse X2 PhaseSpace tal como se encuentra adecuado actualmente.

También se determinarán las condiciones técnicas que tendrá la propuesta, a partir de la revisión hecha en el estado del arte.

### **2.2.2 Interpretación de necesidades**

En esta parte, las necesidades fueron adaptadas como requerimientos, los cuales se tuvieron en cuenta para la formulación de alternativas.

Las necesidades recopiladas se expresaron como enunciados escritos de manera específica, positiva y en términos de lo que el producto tiene que hacer.

Al tener un listado de requerimientos enunciados, se procedió a listarlas de acuerdo al modelo FURPS<sup>12</sup>, el cual recibe su nombre de las siguientes palabras: Functionality (Funcionalidad), Usability (Usabilidad), Reliability (Confiabilidad), Performance (Rendimiento) y Supportability (Soporte). Esto fue tenido en cuenta cuando se realizó la evaluación para la selección de alternativa final.

### **2.2.3 Especificaciones del producto**

Los requerimientos fueron expresados en forma de parámetros, lo cual les permite ser cuantificables y por ende, evaluables en la etapa de prueba de alternativas. Estos mismos requerimientos son los que determinaran el logro de los objetivos propuestos para el proyecto.

---

<sup>12</sup> GRADY, Robert y CASWELL, Deborah. Software Metrics: Establishing a Company-wide Program. Prentice Hall. 1987

## 2.2.4 Generación de concepto

Los problemas a solucionar en la estructura propuesta, se agruparon en subproblemas y para cada uno de estos, se plantearon conceptos generales enfocados en solucionar aspectos técnicos y funcionales de la estructura que son tenidos en cuenta al plantear alternativas.

## 2.2.5 Desarrollo de alternativas

Para cada subproblema identificado en la etapa anterior, se realizó una lluvia de ideas para determinar principios en los cuales basarse para la configuración de la estructura. Después de esto, se realizaron combinaciones con los principios planteados y así se generaron alternativas de solución al problema general. Seguido a esto, se realizó el proceso de definición de aspectos generales cada una.

## 2.2.6 Evaluación de alternativas

Se evaluó el cumplimiento de funciones y requisitos de las alternativas por medio de una lista formato de evaluación con escala de Likert<sup>13</sup>, para escoger una alternativa definitiva con la cual continuar el desarrollo del proyecto. Las características más importantes encontradas en el estado del arte también fueron tenidas en cuenta en esta etapa.

## 2.3 DISEÑO DE DETALLE

*Ilustración 5, Diseño de detalle*



---

<sup>13</sup> LIKERT, Rensis. *A technique for the measurement of attitudes*. Columbia University, New York. 1932.

En este paso se completó la determinación de las piezas de la alternativa final y se preparó la documentación del producto para la fabricación. Los resultados de esta actividad se dan mediante especificación de detalles faltantes, los planos de piezas, listado de componentes y análisis estructurales a las piezas que lo requieren.

### 2.3.1 Determinación de geometría y materiales

- **Formas y dimensiones:** El diseño de detalle fija el resto de formas y dimensiones para completar la definición de las piezas de acuerdo a criterios como facilidad de fabricación y montaje, optimización del espacio, del peso o del presupuesto. También se realizan análisis estructurales a las piezas que están sometidas a cargas dinámicas para validar el diseño y el comportamiento de los materiales escogidos.
- **Tolerancias:** Las tolerancias se indican en los planos de pieza.
- **Radios, chaflanes, cantos:** se completa la geometría de las piezas con detalles como radios, chaflanes y cantos.
- **Determinación de materiales y procesos:** Se fijan los materiales, herramientas y procesos de elaboración de los componentes del proyecto.

### 2.3.2 Determinación de acabados

- **Recubrimientos:** Se determinaron la aplicación de recubrimientos de piezas si es necesario y según la función que se quiere que cumpla: estéticos (pinturas, anodizado, niquelado), evitar la oxidación (sellantes, pinturas, polímeros), resistir el desgaste (recubrimientos cerámicos) o mejorar el deslizamiento (poliamida, PTFE).
- De ser el caso, se determinan los fluidos que intervienen en el sistema, sea para lubricación, montaje o mantenimiento.

### 2.3.3 Revisión del proyecto

Se revisaron y registraron plazos de entrega y costos de fabricación de las piezas de la estructura.

## 2.4 MONTAJE

### Ilustración 6, Montaje



#### 2.4.1 Operaciones de montajes

Se determinó el proceso de montaje, ajuste y verificación, así como se establecieron las respectivas herramientas y pasos a seguir para hacerlo.

#### 2.4.2 Alternativas de montaje

Se revisaron las diferentes opciones de montaje que se pueden realizar con la estructura según el tipo de captura y área disponible y se indicaron los pasos a seguir para cada una.

#### 2.4.3 Pruebas finales y resultados:

En esta etapa, se realizaron pruebas de validación para comprobar que la estructura final propuesta proporciona las condiciones idóneas para una captura de movimiento efectiva y se documentaron las conclusiones del proceso de desarrollo del proyecto.

### 3. PLANEACIÓN

#### 3.1 MARCO TEÓRICO

**Cámara infrarroja:** un tipo de cámara que crea una imagen con luz infrarroja (Fig. 7). Esta tecnología también puede llamarse mirando adelante infrarrojos (FLIR), o de imágenes térmicas. A diferencia de la normal fotográfica o cámaras de vídeo que registran las diferentes longitudes de onda de la luz visible como imágenes, estos dispositivos detectan la luz invisible, infrarrojos, también conocido como calor. En esencia, crean una representación visual de calor<sup>14</sup>.

*Ilustración 7, Cámara infrarroja*



**Fuente:** curtin.edu.au, 2014

**Estructura:** Es la manera en que se disponen las formas en un orden específico, para obtener formas complejas de alta resistencia a partir de elementos simples. Los elementos deben unirse para lograr una estructura rígida<sup>15</sup>.

---

<sup>14</sup> INGENIATIC. Cámara termográfica. 2013. Disponible en: <http://ingeniatic.euitt.upm.es/index.php/tecnologías/ítem/397-cámara-termográfica>. [Consulta: Lunes, 9 de febrero de 2015]

<sup>15</sup> GUEVARA, Eduardo (2004). *Fundamentos de configuración en diseño industrial*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander. Segunda edición ed., 2004 pág. 165.

**Captura de movimiento:** (del inglés motion capture, motion tracking o mocap) es una técnica de grabación de movimiento, en general de actores u animales vivos, y el traslado de dicho movimiento a un modelo digital, realizado en imágenes de computadora (Fig. 8). Se basa en las técnicas de fotogrametría y se utiliza principalmente en la industria del cine de fantasía o de ciencia ficción, o también en los deportes, con fines médicos. En el contexto de la producción de una película, se refiere a la técnica de almacenar las acciones de actores humanos, y usar esa información para animar modelos digitales de personajes en animación 3D<sup>16</sup>. Existen distintos tipos sistemas de captura de movimiento: electromecánico, electromagnético, óptico, por fibra óptica, por ultrasonido y mediante sistemas inerciales. Los factores que afectan en la decisión de qué método utilizar en cada producción están relacionados con el presupuesto disponible, así como el nivel de realismo al que se desee llegar<sup>17</sup>.

*Ilustración 8, Ejemplo de captura de movimiento para la película The Polar Express*



**Fuente:** (sabia.tic.udc.es, 2012)

---

<sup>16</sup> Xsens. Motion Capture. 2012 Disponible en: <http://www.xsens.com/tags/motion-capture/> [Consulta: Miércoles, 10 de febrero de 2015]

<sup>17</sup> RNASA. Capturas de movimiento: principales tecnologías. Equipo de investigación integrado en el grupo de excelencia de Redes de Neuronas Artificiales y Sistemas Adaptativos. Universidade da Coruña. Recuperado de: <http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicionales/trabajos/Peliculas/Mocap/tecnol.htm> [Consulta: Viernes, 8 de mayo de 2015]

A continuación se brinda una breve descripción de los sistemas de tipo óptico, ya que el sistema Impulse X2 PhaseSpace para el cual se está desarrollando la estructura de este proyecto hace parte de esa clasificación.

**Captura de movimiento óptica:** Utilizando una o más cámaras sincronizadas, los sistemas ópticos emplean datos recogidos por sensores de imagen para deducir la posición de un elemento en el espacio gracias a los sensores pegados al cuerpo del actor<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> KERLOW, Isaac. The art of 3D computer animation and effects. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2009. Pág. 370

Tabla 1, Ventajas y desventajas de la captura de movimiento óptica

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Los datos ópticos son precisos.	Propenso a interferir con la luz.
Múltiples actores pueden ser capturados al mismo tiempo.	La información debe ser procesada antes de su visualización.
La cantidad de datos capturados puede ser mayor que en otros sistemas.	Las rotaciones de las partes del cuerpo deben ser calculadas y no son absolutas.
La información del exoesqueleto se puede generar.	El actor debe llevar un traje con puntos y bolas que puede resultar incómodo.
El actor tiene libertad de movimientos ya que no existen cables que conecten su cuerpo con el equipo.	El procesado puede llevar de uno a dos minutos por cada segundo capturado para datos simples. Para datos más complejos puede llevar de 15 a 30 minutos por segundo.
Las configuraciones de los marcadores pueden cambiarse fácilmente.	El <i>hardware</i> suele ser frecuentemente más caro que otros equipos de <i>mocap</i> .
Se obtienen datos muy depurados y detallados.	Se requiere de gran procesamiento.
Consigue grabar objetos a velocidades más altas que otros sistemas de captura.	Los puntos reflectantes pueden ser ocluidos causando así pérdidas de datos, aunque la oclusión de estos puntos puede ser compensada por el <i>software</i> que estima la posición de los puntos perdidos.
Un gran número de sensores pueden ser utilizados.	

Fuente: Mérida, 2013

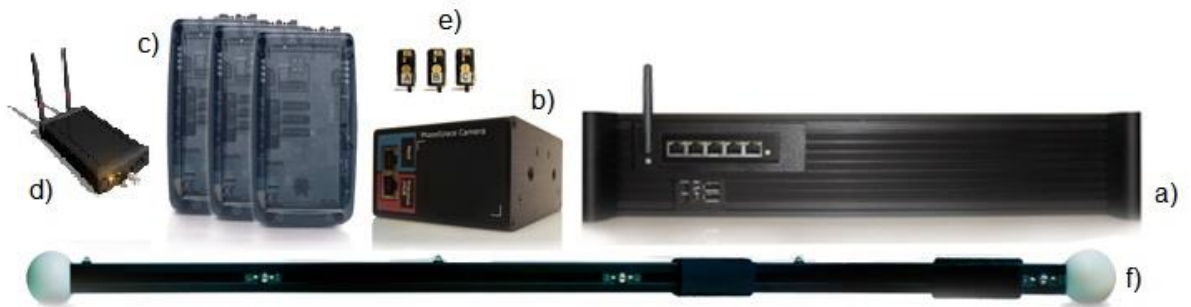
## **Sistema de captura de movimiento Impulse X2 PhaseSpace**

El sistema de captura de movimiento IMPULSE X2 de PhaseSpace es un sistema orientado a ofrecer bajo costo junto con un desempeño aceptable en la captura de movimiento. Está basado en el uso de marcadores ópticos junto con un sistema de cámaras infrarrojas de alta velocidad, es capaz de capturar hasta 480 cuadros por segundo y rastrear hasta 256 marcadores únicos activos. Aunque la precisión del sistema de rastreo no es la mejor, su rendimiento está muy cerca de los sistemas de captura de movimiento más costosos.

El hardware básico del sistema IMPULSE X2 consta de los siguientes elementos:

- Servidor central: al que se conectan las cámaras y las estaciones bases. Dimensiones: 44,76 cm x 17,78cm x 45,43cms. Peso: 10.7 Kg. Procesador: Intel Quad Core. Memoria: 4GB. (Fig. 9.a)
- Cámaras infrarrojas con una resolución de 3600 x 3600 píxeles, con un campo de visión de 60°. Dimensiones: 10,8 cm x 9,2 cm x 5,7 cm. Peso: 350 gr. (Fig. 9.b)
- “LED driver”: almacenan la configuración de los LEDs y alimentan a los mismos. Dimensiones: 12,6 cm x 7 cm x 2,5 cm. Peso: 90 gr. (Fig. 9.c)
- “LED Base Station”: unidades que permiten la comunicación inalámbrica con los drivers. (Fig. 9.d)
- Marcadores IRED infrarrojos, cada uno marcado con una letra, entre la A y la L. Dimensiones: 2 cm x 1,4 cm x 3,2 cm. Peso: 4.5 gr. (Fig. 9.e)
- Barra de calibración con ocho marcadores, usada para la calibración del sistema. Dimensiones: 96.5cm x 3.8cm x 3.8cm. (Fig. 9.f)
- Traje para el posicionamiento de marcadores (Fig. 10)

**Ilustración 9, Hardware sistema de captura Impulse X2 PhaseSpace a) Servidor central b) Cámara infrarroja c) LED Driver d) LED Base Station e) Marcadores LED infrarrojas f) Barra de calibración.**



**Fuente:** PhaseSpace.com, 2010

**Ilustración 10, Traje Impulse X2 PhaseSpace**

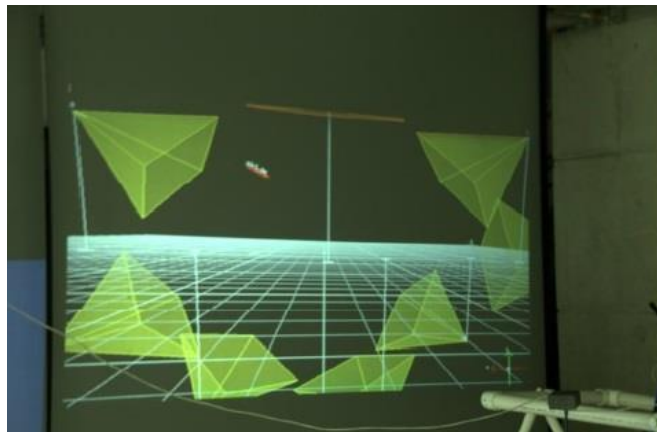


**Fuente:** PhaseSpace.com, 2010

El software que provee PhaseSpace está dividido en dos partes. Por un lado están las aplicaciones gráficas con las que los usuarios interactúan, tales como la aplicación de calibración o el Motion Master (Fig. 11), que es la interfaz principal para la captura de movimiento. Por otro lado, está el servidor OWL, que es la

aplicación encargada de procesar los datos de movimiento observados por el sistema y de exponerla a las aplicaciones clientes, tales como el Motion Master o editores de imagen. El servidor OWL está corriendo siempre desde el inicio del servidor incluido con el sistema, y los clientes se conectan a él a través de una conexión TCP <sup>19</sup>.

**Ilustración 11, El programa Motion Master mostrando la barra de calibración y los ángulos de captura de las cámaras en pantalla.**



**Fuente:** Padilla, 2010.

### **Flujo de trabajo para realizar una captura de movimiento**

Antes de comenzar una captura de movimiento, se prepara un esqueleto tridimensional del modelo que se desea animar con la información que se recolecte con el sistema de captura de movimiento. En él, deben definirse las articulaciones y puntos de unión con las extremidades para así poder colocar los marcadores en los mismos puntos sobre el traje (Fig. 12.a).

Seguido a esto, se realizan dos tipos de calibraciones. En la primera, se configura la posición de las cámaras respecto a las demás y en la segunda, se ubica al usuario en forma de T para que el sistema haga un registro de su rango de movimiento e identifique correctamente los marcadores (Fig. 12.b).

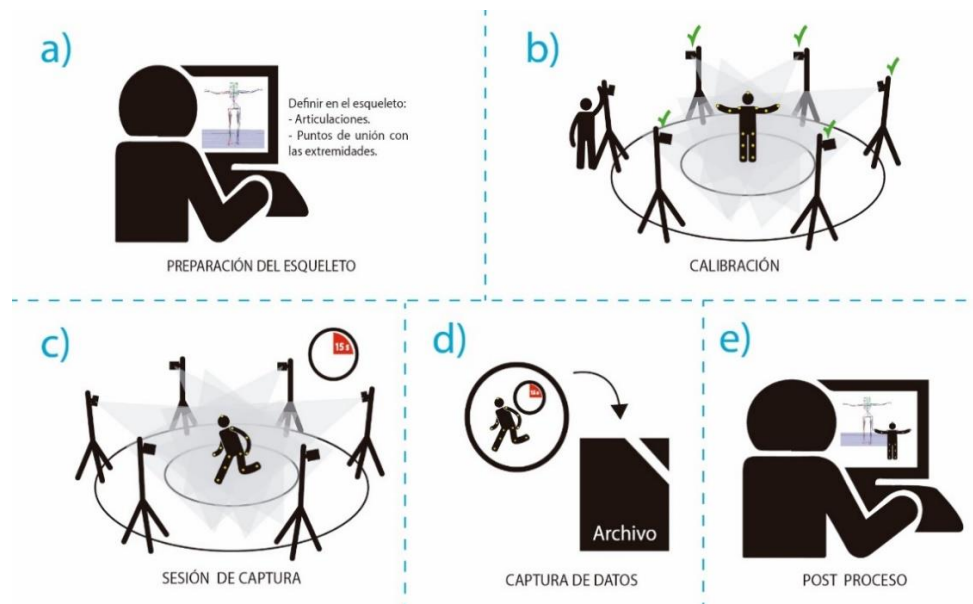
---

<sup>19</sup> PADILLA, Andrés. *Introducción al uso del sistema IMPULSE de Phasespace* D. d. I. d. S. y. C. Grupo de Investigación IMAGINE (Ed.). 2010. (pp. 28).

Constituye el momento en el cual se realizan las grabaciones al objeto mediante el sistema de MoCap realizando los movimientos que se desean trasladar al modelo digital. Cada sesión de grabación consiste en escenas de 15 a segundos donde las camaras registran el movimiento en el escenario de los marcadores en el caso de métodos visuales, mientras que para los otros metodos los sensores registran cualquier tipo de movimiento con respecto al punto donde se encuentran

En la sesión de captura, se graba una escena de 15 segundos en la cual las cámaras registran el movimiento de los marcadores dentro de un área determinada. (Fig. 12.c). Esa escena queda guardada en un archivo .acm o .asf (Fig. 12.d), que luego se empalmará con el esqueleto 3D elaborado inicialmente. Cada marcador debe ser asignado a las articulaciones del cuerpo y se debe definir qué partes se trasladan o rotan (Fig. 12.e). Hecho esto, se hace un proceso de depuración en el cual se arreglan detalles o imperfecciones, hasta conseguir el resultado esperado para finalmente, proceder a renderizar la animación<sup>20</sup>.

**Ilustración 12, Flujo de trabajo para realizar una captura de movimiento**



<sup>20</sup> RINCÓN, P. y ZAMBRANO, E. "Motion Capture" en Curso de Computación Gráfica II. Venezuela: Universidad Simón Bolívar. 2012.

## 3.2 ESTADO DEL ARTE

Para el desarrollo de este proyecto se investigaron en bases de datos de artículos científicos y motores de búsqueda, las soluciones que ofrece el mercado para el soporte de cámaras para captura de movimiento, para el acondicionamiento de cuartos para realizar capturas de movimiento y también, sobre empresas que brindan el servicio de captura de movimiento con sus propios equipos e instalaciones.

### 3.2.1 Soportes para cámaras infrarrojas

Después de observar los catálogos de empresas proveedoras de soportes, se puede inferir que en el mercado actual se ofrecen tres tipos de soporte para cámaras infrarrojas: soportes fijos (van a la pared o al techo, y se mueven con máximo dos grados de libertad), soportes fijos con extensión (tres grados de libertad) y soportes móviles (trípodes).

#### 3.2.1.1 Soportes fijos

- **Wall Mount – Right Angle:** Montaje en pared resistente. Este soporte de pared está diseñado para el montaje en vigas, paredes de concreto u otras superficies reforzadas<sup>21</sup>.

**Ventajas:** fácil montaje con tornillos e incluye recubrimiento en polvo para pared. **Desventajas:** sólo es compatible con el soporte adicional

---

<sup>21</sup> NaturalPoint. Camera Stand 10ft. 2014. Recuperado de: <https://www.naturalpoint.com/optitrack/products/mounts-tripods/> [Consulta: Martes, 12 de mayo de 2015]

Manfrotto<sup>22</sup> y se necesita de un recinto permanente, ya que diseñado para ser fijado a una pared. Únicamente tiene grado de libertad vertical.

*Ilustración 13, Wall mount – right angle*



**Fuente:** NaturalPoint.com, 2014

- **Vitek VT-HTM8:** La montura Vitek está hecha de aluminio de alta resistencia que hace que una unidad resistente y duradera. Dimensiones: 22,5 cm x 7,5cm x 11,5cm. Peso: 0,3 kg<sup>23</sup>.  
**Ventajas:** Liviana. Tiene cabezal de giro, lo que hace que pueda rotar 360° horizontalmente e inclinarse hasta 90° hacia abajo.  
**Desventajas:** Montura diseñada para ser ajustada a la pared, por ende la cámara no se puede desplazar ni horizontal ni verticalmente.

*Ilustración 14, Vitek VTHTM8 wall mounting bracket*



**Fuente:** Qualisys.com, 2013

---

<sup>22</sup> Ibid.

<sup>23</sup> Qualisys. Vitek VTHTM8. 2013. Recuperado de: <http://www.qualisys.com/products/accessories/mounting-equipment/> [Consulta: Martes, 12 de mayo de 2015]

### 3.2.1.2 Soportes fijos con extensión

- **Carriles de Aluminio:** Solución de montaje personalizada que puede ser dimensionada de acuerdo a entornos de captura específicos<sup>24</sup>.

**Ventajas:** los rieles de aluminio son muy resistentes y las cámaras se pueden colocar en cualquier lugar a lo largo del carril. Desplazamiento libre horizontal para cada cámara.

**Desventajas:** Las cámaras solo pueden trasladarse en un eje horizontal. Los soportes triangulares del riel van fijos a la pared, lo cual no permite variar la altura de éste continuamente.

*Ilustración 15, Carril de aluminio*



**Fuente:** Qualisys.com, 2013

---

<sup>24</sup> Qualisys. (2013). Aluminum rails. Recuperado de: <http://www.qualisys.com/products/accessories/mounting-equipment/> [Consulta: Martes, 12 de mayo de 2015]

- **Flat Wall-Mount Set:** Se compone de dos placas con terminales planos, cada uno con una articulación de rótula, interconectados por una varilla de extensión, y completados por un seguidor<sup>25</sup>.

**Ventajas:** El rastreador montado puede girar e inclinarse para apuntar en cualquier dirección.

**Desventajas:** Necesita ser anclado a la pared. Solo puede ser usado con la cámara rastreadora VisualEyez.

*Ilustración 16, Flat Wall-Mount Set*



**Fuente:** Ptiphoenix.com, 2012.

### 3.2.1.3 Soportes móviles

- **Camera Stand 10ft:** Soporte universal de alta resistencia tiene un diseño de 3 ejes y 2 embragues. Permite ajustes de altura máxima de hasta 10 pies y soporta hasta 140 libras.

---

<sup>25</sup> Ptiphoenix. Flat Wall-Mount Set. 2012. Recuperado de: <http://www.ptiphoenix.com/?prod-mounts-post=flat-wall-mount-set> [Consulta: Martes, 12 de mayo de 2015]

**Ventajas:** Soporte de doble brazo, piernas extra largas y pasador de seguridad para mayor resistencia. Se pueden montar hasta 3 cámaras por soporte. Desplazamiento vertical de cámaras.

**Desventajas:** La base (38"-58"), abarca parte del área de captura y puede ser un obstáculo para el movimiento del usuario del traje o de la persona que está configurando la estructura<sup>26</sup>.

*Ilustración 17, Camera Stand 10 ft.*



**Fuente:** NaturalPoint.com, 2014.

### 3.2.2 Acondicionamiento de espacios

A continuación, se describen algunos estudios y empresas que acondicionan espacios para captura de movimiento, a nivel mundial:

---

<sup>26</sup> NaturalPoint. Camera Stand 10ft. 2014. Recuperado de: <https://www.naturalpoint.com/optitrack/products/mounts-tripods/> [Consulta: Martes, 12 de mayo de 2015]

### 3.2.2.1 Laboratorio producción digital y MOCAP – Universidad de Granada (España)

*Ilustración 18, Laboratorio producción digital y MOCAP – Universidad de Granada*



**Fuente:** innovacampus.ugr.es, 2012

#### **Equipamiento:**

- 3 ordenadores IMAC para producción
- 3 ordenadores PC
- Sistema óptico de captura de movimiento inalámbrico, con 8 cámaras y marcadores pasivos
- cámaras de alta velocidad
- Marcadores pasivos para la captura de movimiento de cuerpo entero de dos actores.

#### **Características:**

- Captura de 90 marcadores simultáneos.
- 100 capturas por segundo.
- Área de captura de 2 x 2 metros
- Captura en tiempo real

**Ventajas:** Incluye asesoría en edición y producción digital de contenidos.

**Desventaja:** Solo proyectos académicos. Se encuentra en España.

### 3.2.2.2 SIGNOS Studio

Signos Studio pone a disposición de la industria de la animación, los videojuegos y medios audiovisuales, el primer laboratorio de captura de movimiento en Colombia. Cuenta con:

- Sistema Mocap óptico de 24 cámaras Infrarrojas (30 a 100 fps)
- Trajes inalámbricos con 33 marcadores ópticos.
- Entrega inmediata de archivos .bvh
- Trayectorización, suavizado y limpieza automática de archivo Mocap gratis.
- Suministro de archivos en varios tipos de formatos: FBX, C3D, CSM
- Área de trabajo de 65m<sup>2</sup>: área efectiva de captura de 9m<sup>2</sup>, área producción de 41m<sup>2</sup>, área de juntas de 15m<sup>2</sup>.

El sistema permite realizar captura de hasta dos personajes en escena (bípedos o cuadrúpedos), con sus respectivos objetos (armas, espadas) y capturas faciales.

#### **SERVICIOS:**

- Captura de movimiento de cuerpo completo (máximo dos actores)
- Captura de movimiento facial.
- Captura de movimiento de objetos (movimiento de objetos rígidos interactuando con actores, como espadas, lanzas, rifles, instrumentos musicales, etc.).

**Ventajas:** Mayor experiencia en el país, por ser estudio pionero en captura de movimiento en Colombia. Asesoría según el servicio de captura requerido.

**Desventajas:** Área de captura fija, no se puede trabajar con más de dos actores.

### 3.2.2.3 Natural Point

Natural Point es una empresa ubicada en Corvallis, Oregon (EEUU), que ofrece todo lo relacionado con sistemas de captura de movimiento y realiza adaptaciones de cuartos para ello, de acuerdo a las necesidades y área de desempeño del cliente. Cuentan con tres líneas:

- TrackIR: Para utilizarlo en la creación de video juegos
- SmatNav: Orientado a la medicina.
- OptiTrack: Para cine y animación.

*Ilustración 19, Laboratorio acondicionado por NaturalPoint*



**Fuente:** NaturalPoint.com, 2014.

Al ingresar a su página de internet, se selecciona la línea en la cual será utilizado el sistema y a continuación, se arma a conveniencia del usuario, la estructura deseada.

**Ventajas:** Acondicionar el cuarto de acuerdo a la línea para la cual se utilizará el sistema de captura. Servicio personalizado. Permite visualizar en

su plataforma online, el tipo de montaje es adecuado de acuerdo al número de cámaras que se deseen instalar.

**Desventajas:** No tiene distribuidor e instalación en Colombia. NaturalPoint solo tiene una sucursal en México para América Latina, lo cual aumenta considerablemente los gastos de acondicionamiento de recinto para realizar captura de movimiento en Colombia.

### 3.3 DETERMINACIÓN DE FACTORES AMBIENTALES

#### **Iluminación recomendada dentro del área de captura**

Según Birch Zimmer<sup>27</sup>, co-fundador de la empresa de sistemas de captura de movimiento Natural Point, la única luz que interfiere realmente en la realización de capturas de movimiento es la luz solar, así sea en una cantidad mínima. Para guiar al usuario en la zona de captura, él recomienda utilizar focos o guías de iluminación LED (en la parte superior o inferior del volumen de captura, nunca a nivel de cámaras), ya que no emiten luz infrarroja ni ultravioleta y por ende, sus reflejos no serán detectados por las cámaras. La luz fluorescente, aunque tampoco emite luz infrarroja, si emite luz ultravioleta y puede ser peligrosa en caso de rotura debido al vapor de mercurio que se encuentra en su interior. La iluminación incandescente no se recomienda porque emite luz infrarroja que puede ser recogida por las cámaras, a menos que la cámara tenga un filtro para esto.

---

<sup>27</sup> ZIMMER, Birch. Proper light in a mocap area. 2011. [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <https://forums.naturalpoint.com/viewtopic.php?f=51&t=9054&p=46001&hilit=light+ir+fluorescent#p4595>.

Los focos de luz deben tener una distribución homogénea y directa-indirecta en el área de captura, ya que entre menos áreas de sombra se generen, es mejor la calidad de la captura.

### **Preparación del área de captura**

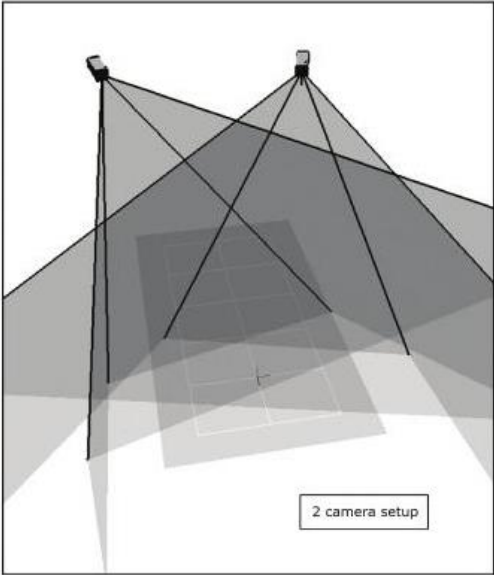
El volumen de captura es la cantidad de espacio tridimensional que dentro de la cual se puede registrar una captura de movimiento. Cuando se utiliza un sistema óptico, como en el caso del Impulse X2 PhaseSpace, el volumen de captura nunca tiene una forma rectangular o cuadrada (en vista superior). Casi siempre tiene una forma de carpa con puntos altos en la parte central del área de captura. Si está utilizando una gran cantidad de cámaras que no apuntan al centro de dicha área, el volumen será aún más irregular<sup>28</sup>.

El número de cámaras en los sistemas de captura ópticos, son determinantes para el tamaño y buen cubrimiento del volumen de captura. En teoría, para realizar una captura de movimiento, se necesitan mínimo dos cámaras (Fig. 20), pero esto dejaría por fuera del campo de visión algunos marcadores generando oclusión (Fig. 21). Este problema se arregla usando una configuración de cuatro cámaras (Fig. 22). El número de cámaras ideal depende del área que se disponga, del presupuesto y el tipo de captura que se quiera hacer. Una configuración de ocho cámaras equidistantes brinda un área de captura de 3m x 3m perfecta para aplicaciones como animación de videojuegos o estudios biomecánicos (Fig. 23).

---

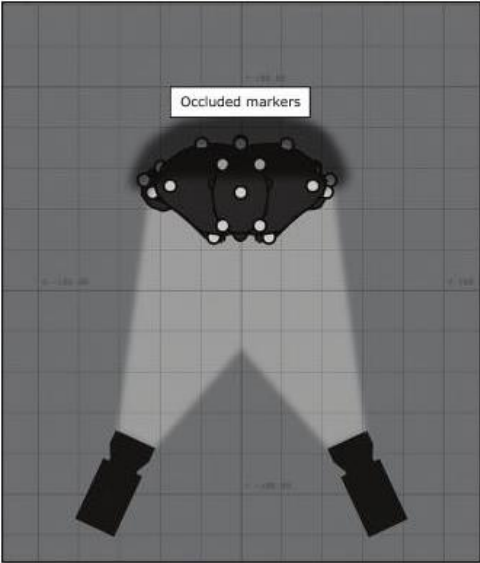
<sup>28</sup> KITAGAWA, Midori y WINDSOR, Brian. MoCap for Artists - Workflow and Techniques for Motion Capture. Elsevier Inc. 2008.

**Ilustración 20, Configuración de dos cámaras**



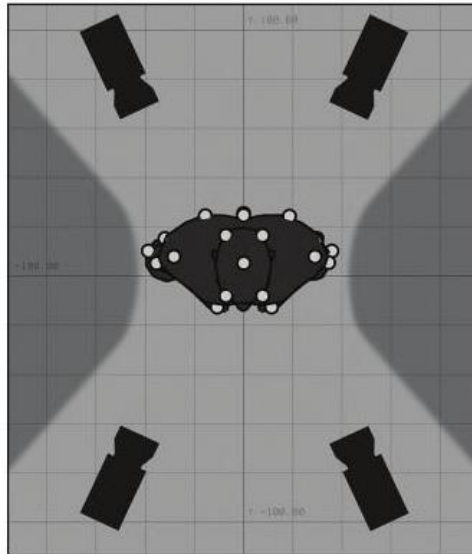
**Fuente:** Tobón, 2010

**Ilustración 21, Oclusión de marcadores**



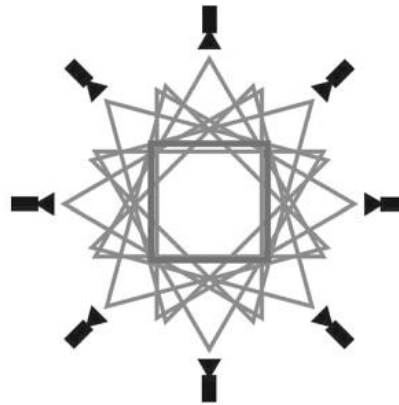
**Fuente:** Tobón, 2010.

*Ilustración 22, Configuración de cuatro cámaras.*



**Fuente:** Tobón, 2010.

*Ilustración 23, Configuración de ocho cámaras.*

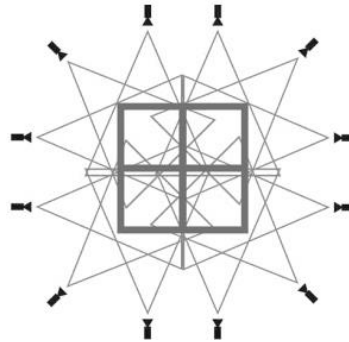


**Fuente:** Kitagawa, Windsor, 2008.

Si se desea hacer capturas de movimiento a mayor escala, como por ejemplo para escenas con efectos especiales en escenas de películas, un volumen de captura con disposición de mínimo 12 será más adecuado. En ese caso, se debe crear un tipo de zona de enfoques superpuestos en la que las cámaras se

agrupen en cuadrantes, pero mantengan la proyección de cada una hacia el centro del área de captura (Fig.24).

*Ilustración 24, Disposición de 12 cámaras ubicadas en cuadrantes*



**Fuente:** Kitagawa, Windsor, 2008.

Se debe conocer la distancia aproximada entre el centro del área de captura y donde la cámara se debe ubicar. El lente de la cámara tiene una profundidad de campo (una zona de nitidez aceptable) y el objetivo de cámara enfoca solo las cosas que se encuentren en el rango de dicho campo. Las cámaras del sistema Impulse X2 PhaseSpace tienen la ventaja de contar con un campo de visión de 60 grados, lo cual permite grabar en espacios reducidos y grandes, evitando problemas de exclusión en el volumen de captura.

La altura del volumen de captura depende de lo que va a ser capturado. Si la captura será con alguien saltando sobre un trampolín, se aumentará la altura del volumen de captura y se reducirá el espacio de captura en términos de los metros cuadrados de la superficie del piso. La altura de los límites del espacio de captura para usuarios en posición bípeda es usualmente entre 1,8 y 2,1 metros.

El ajuste de orientación de cámaras es más fácil si el usuario puede hacerlo con otra persona. Mientras que uno está en una cambiando el objetivo de la cámara, el otro puede decir en qué dirección está mirando ésta y hacia donde

debe moverse. Si una persona tiene que hacer el ajuste de dirección sin ayuda, puede proyectar lo que la cámara está mirando a una pared para que pueda verlo desde la escalera o banco sobre el cual se encuentra ajustando las cámaras altas.

Después, se debe probar si el volumen tiene ángulos muertos. Para ello, el usuario del traje debe caminar por fuera del área. Con tres marcadores, se podrá ver cuando los marcadores entran y salen de volumen de captura. Una vez que sepa dónde están los puntos ciegos, deben ajustarse las cámaras que cubren esa parte del piso para eliminar cada uno. Hay veces que cubrir un ángulo muerto crea otros. Cuando esto sucede, se necesitan reposicionar las cámaras y tratar de cubrirlo todo en un área de captura más pequeña que la que tiene, o decidir con cuales puntos ángulos ciegos puede trabajar que no afecten la captura.

Una vez las cámaras están ubicadas, lo ideal es no moverlas. Un movimiento brusco o una vibración constante en la superficie sobre la que se encuentran, piso o pared, pueden desconfigurar el sistema. Lo ideal es crear barreras entre el usuario en movimiento y las cámaras, así como entre los trípodes o soportes de éstas. De esta manera se minimizan las posibilidades de distorsiones y efectos de barrido en la captura de movimiento<sup>29</sup>.

### **Configuración del sistema para capturas de movimiento faciales**

Se debe colocar una silla para sentar al usuario con las cámaras alrededor. No hay necesidad de que las cámaras proyecten hacia la parte posterior de la cabeza del usuario, pero si deben cubrir muy bien los costados. Se debe definir si el cubrimiento se hace de 180° o de 200° alrededor del sujeto, dependiendo de lo que se desee obtener de la captura, porque si él gira su cabeza 90° a la derecha

---

<sup>29</sup> *Ibíd.*

hacia alguno de los lados en la disposición de 180°, los marcadores de ese lado de la cara quedarán ocluidos (Fig. 25).

*Ilustración 25, Configuración de cámaras para captura de movimiento facial*



**Fuente:** Kitagawa, Windsor, 2008

Las cámaras se deben ubicar a distintas alturas, al menos un tercio o la mitad de ellas es recomendable que vayan dirigidas hacia abajo a un poco más arriba del nivel de los ojos del sujeto sentado y las restantes un poco más abajo del nivel de los ojos, de tal manera que el sujeto no se sienta incómodo por tener las cámaras casi en posición frontal como si estuviera siendo interrogado<sup>30</sup>.

### **Consideraciones para las superficies de un recinto para captura de movimiento**

**Suelo:** Debe ser opaco para evitar reflejos. Preferiblemente negro o gris oscuro. Si el piso del recinto está diseñado para ser pulido, se debería asesorar a personal de limpieza no hacerlo. En caso de no poder intervenir la infraestructura del lugar, se debería considerar instalar una superficie adecuada que además de ser opaca,

---

<sup>30</sup> *Ibíd.*

disminuya posibles vibraciones. La vibración excesiva puede conducir a problemas de captura si es lo suficientemente significativa para mover las posiciones de cámara por un milímetro o más<sup>31</sup>.

**Techo:** El techo debe estar hecho de un material oscuro y no reflectante. La altura del techo debe ser como mínimo 2m por encima del suelo, aunque podría aumentar a los 3m en caso de capturar movimientos relacionados con saltos o ascensos verticales<sup>32</sup>

**Paredes:** Si las cámaras son ubicadas en las paredes, éstas no deben vibrar como resultado de movimientos dentro del espacio de captura (Vicon, 2014). Recomendable grabar en una habitación pintada de color gris muy oscuro o negro (Fig. 26), ya que el traje de captura de movimiento debe coincidir con el fondo para que no haya interferencia de ningún tipo y el único registro que hagan las cámaras sea el de los marcadores<sup>33</sup>.

---

<sup>31</sup> Vicon. The essentials of motion capture: capture space considerations. 2014. Recuperado de: [http://www.udel.edu/PT/Research/MAL/essentials\\_of\\_motion\\_capture\\_v1\\_2.pdf](http://www.udel.edu/PT/Research/MAL/essentials_of_motion_capture_v1_2.pdf) [Consulta: Viernes, 13 de Noviembre de 2015]

<sup>32</sup> *Ibíd.*

<sup>33</sup> SANTINI, Nicolás. How to make your own motion capture studio. [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <http://www.creativebloq.com/3d/how-make-your-own-motion-capture-studio-71515919> [Consulta: Viernes, 13 de Noviembre de 2015]

*Ilustración 26, Color del recinto de captura de movimiento*



**Fuente:** Santini, 2014.

### **3.3.1 Análisis de resultados de marco teórico, estado del arte y determinación de factores ambientales.**

Al analizar la información recopilada, se puede concluir que los factores más relevantes que se deben controlar son la iluminación y la vibración.

**Iluminación:** no es necesario que la zona de captura esté en total oscuridad, de hecho pueden ubicarse fuentes lumínicas siempre y cuando estén distribuidas uniformemente en el área (a nivel del suelo o del techo, pero no al mismo nivel de las cámaras), el flujo luminoso sea directo-indirecto de y no emitan rayos infrarrojos. Por ende, la presencia de luz solar debe evitarse totalmente.

**Vibración:** es normal que el usuario del traje produzca vibración al moverse en el área de captura, pero se recomienda minimizarla al punto que no afecte la calibración de las cámaras y por ende, la captura de movimiento a realizar.

Las superficies que actúan como fondo en el volumen de captura (techo, piezas estructurales, piso, paredes), debe ser de color negro o gris oscuro sin brillo alguno, para que no se presenten reflejos de luz y se vea afectada la grabación.

Los soportes de cámaras que se encuentran en el mercado se pueden clasificar en fijos, fijos con extensión y móviles. Los fijos solo permiten movimientos de giro respecto a una posición y los fijos con extensión solo se diferencian de los anteriores en poder desplazarse en un sentido pero siguen estando atados al lugar establecido en un cuarto de una edificación. El soporte móvil para cámaras infrarrojas que existe en el mercado se asemeja al trípode de las cámaras fotográficas y tiene las desventajas de tener unas bases tan amplias que pueden interferir el espacio del área de captura destinado para la realización de movimientos por parte del usuario del traje.

### **3.3.2 Prueba inicial de factores ambientales para captura de movimiento**

**Objetivo:** Cuantificar las condiciones actuales de luz y vibración con las que se realiza una captura de movimiento con el sistema Impulse X2 PhaseSpace para después ser comparadas con las de la estructura propuesta.

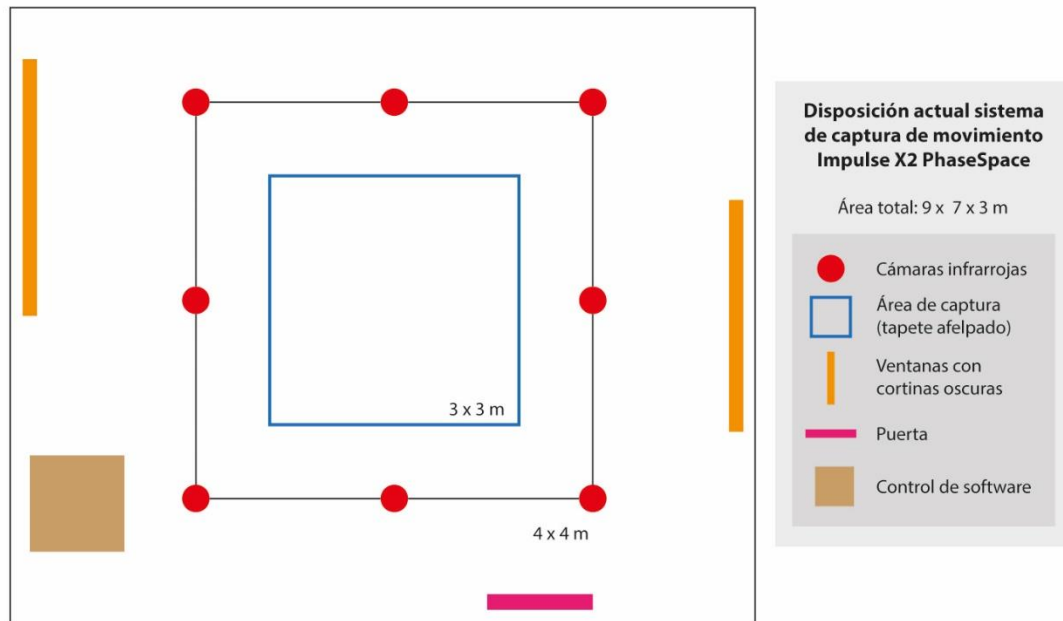
**Perfil de participantes:** Equipo de diseño desarrollador del proyecto.

**Número de participantes:** 2

**Lugar:** SENA Tecnoparque. Cra 19 # 31 – 65. Bucaramanga

**Herramientas:** Esquema de la disposición actual del sistema (Fig. 27). Sistema de captura de movimiento Impulse PhaseSpace X2. Luxómetro. Vibrómetro.

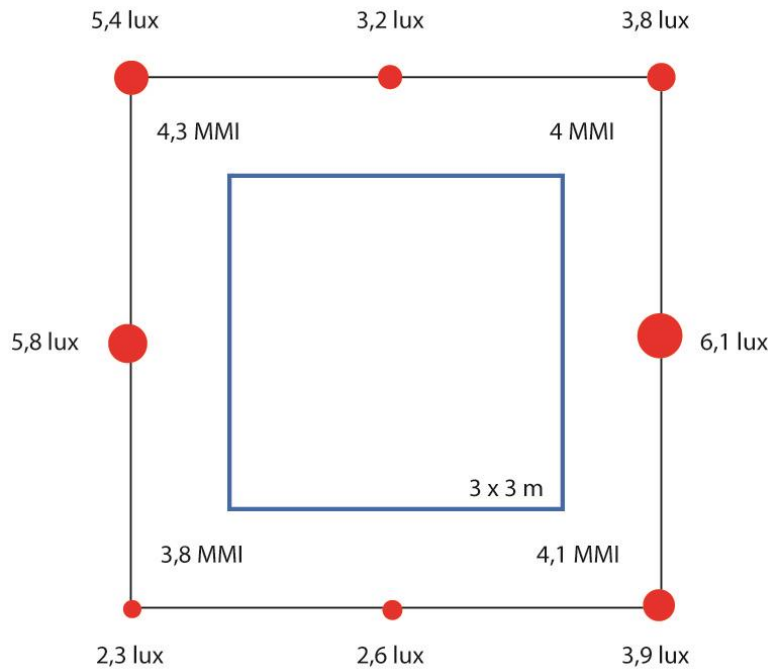
**Ilustración 27, Disposición actual del sistema de captura de movimiento Impulse X2 PhaseSpace.**



**Metodología:** Utilizando un luxómetro, se midió la cantidad de luz que reciben los puntos del área en los cuales están ubicados cada una de las ocho cámaras. Con un vibrómetro digital, se procede a medir el nivel de vibración en cuatro puntos del piso del recinto en el cual se encuentra dispuesto el sistema (parte exterior del área de captura) mientras una persona salta en el centro del área de captura. Los datos obtenidos se registraron en un esquema gráfico para su posterior comparación con los datos obtenidos en la prueba final de factores ambientales para captura de movimiento.

**Resultados:** A continuación, se presentan en un gráfico los datos obtenidos de las cantidades de luz presentes en los puntos de ubicación de las cámaras infrarrojas y la vibración en cuatro puntos exteriores a la zona de captura.

**Ilustración 28, Datos obtenidos de luz y vibración en la disposición actual de la zona de captura.**



*En la Figura 28 se aprecia la heterogeneidad de flujo lumínico presente en la disposición actual del área de captura*

**Análisis de los datos:** El nivel de iluminación en cada cámara presenta valores distintos respecto a los demás, lo cual dista de las condiciones ideales para una efectiva captura de movimiento. Aunque en el lugar que se encuentra ubicado el sistema actualmente, las ventanas están cubiertas con cortinas que no permiten el paso de luz, ésta se filtra y produce la falta de uniformidad en la iluminancia de la zona de captura, por ese motivo, en los puntos donde se ubican las cámaras cercanas a las ventanas los valores de iluminancia estuvieron alrededor de los 6 lux, mientras que los demás oscilaron entre 2,3 lux y 3,9 lux.

En cuanto a la vibración, el vibrómetro marco valores de intensidad entre 3,8 MMI y 4,3 MMI, que según la Escala de Mercalli Modificada (MM)<sup>34</sup>son leves y moderados, es decir, vibraciones perceptibles por personas en interiores y que pueden producir perturbaciones a los objetos cercanos al origen del movimiento.

Por lo tanto, con la propuesta de solución se debe conseguir homogeneidad en la iluminancia del área de captura y en la parte exterior de ella, niveles de vibración inferiores a los actuales, que no perturben las cámaras y por ende la calidad de la captura.

### 3.4 DECLARACIÓN DE LA MISIÓN

*Tabla 2, Declaración de la misión del proyecto.*

Declaración de la misión: Estructura soporte para el sistema de captura de movimiento Impulse X2 PhaseSpace para Sena Tecnoparque	
Descripción del producto	Estructura que sostiene y mejora las condiciones de captura del sistema de captura de movimiento Impulse X2 PhaseSpace.
Propuesta de valor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controla las condiciones ambientales para que sean las adecuadas para realizar una captura de movimiento.</li> <li>• Estructura transportable para que el sistema pueda ser instalado en diferentes locaciones.</li> <li>• Área de captura configurable de acuerdo a la captura de movimiento que se desee realizar.</li> </ul>

<sup>34</sup> USGS. The Modified Mercalli Intensity Scale. 2014. Recuperado de: <http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mercalli.php>

Entidades involucradas	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Grupo de investigación Interfaz</li> <li>•Escuela de Diseño Industrial UIS</li> <li>•SENA Tecnoparque Nodo Bucaramanga</li> </ul>
Público objetivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Universidades y entidades de investigación.</li> <li>•Programas de desarrollo de proyectos de I+D+i</li> <li>•Productoras audiovisuales</li> </ul>
Suposiciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Transportable</li> <li>•Área de captura configurable</li> <li>•Orientación de cámara graduables mecánicamente</li> </ul>
Restricciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Costo del proyecto.</li> <li>•Materia prima disponible a nivel nacional.</li> <li>•Procesos de manufactura disponibles en Bucaramanga y su área metropolitana</li> </ul>

## 4. DESARROLLO DEL CONCEPTO

### 4.1 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES

La etapa de identificación de necesidades se realizó a partir de la información analizada en el estado del arte y al manual técnico del sistema Impulse PhaseSpace x2. Aun así, esta información no era suficiente, ya que hay necesidades que se evidencian a partir de la interacción que han hecho los usuarios del sistema de captura (gestores de la línea virtual de Sena Tecnoparque) tal como está adecuado actualmente. Para ello se decidió realizar entrevistas a los gestores para garantizar que la propuesta de estructura que se genere, ofrezca una solución más completa.

#### 4.1.1 Protocolo entrevista

**Objetivo:** recolectar datos importantes sobre el uso del sistema de captura de movimiento Impulse PhaseSpace X2 para usarlos en el planteamiento de requerimientos del proyecto.

**Desarrollo de la entrevista:** la entrevista con cada gestor se desarrolló vía correo electrónico, utilizando un formulario de preguntas abiertas. Al recibir las respuestas, se agradeció la atención prestada, se registraron los datos en una tabla de Excel y se agruparon los deseos de los entrevistados para ser interpretados como necesidades. **VER ANEXO A.**

### 4.2 INTERPRETACIÓN DE NECESIDADES

A continuación, se presenta una tabla con las necesidades resultantes del análisis de la entrevista, de los manuales del usuario del sistema de captura de movimiento Impulse X2 PhaseSpace y de la etapa de planeación del proyecto:

**Tabla 3, Necesidades interpretadas**

Enunciado	Necesidad interpretada
Establecer las distancias que separan las cámaras	La estructura debe evitar que las cámaras tengan obstáculos en el área de captura que entorpezcan el ángulo de visión y generen oclusión de los marcadores.
	La estructura pueda ser configurada para que según el área de captura, las cámaras estén separadas entre sí a la misma distancia.
Que las cámaras disponibles (8) se puedan ubicar a las alturas necesarias.	La estructura debe permitir el montaje de las cámaras en las posiciones y distancias mínimas del suelo recomendadas por el fabricante.
Que sea un cuarto libre de luz solar con luz controlada.	La estructura debe aislar de luz solar a la zona de captura de movimiento.
Que sea resistente	La estructura debe ser robusta para que soporte la manipulación ruda.
Debe ser fácil de armar	El montaje de la estructura debe poder ser realizado por una sola persona.
	Los elementos de unión de la estructura deben ser de fácil identificación.
	Se deben establecer guías de montaje.
	El montaje de la estructura para su utilización se debe realizar en el menor número de pasos posible, utilizando acoples básicos.
	Los acoples deben garantizar sujeción entre las partes de la estructura.
	La estructura no debe tener filos en las zonas de contacto con el usuario, para evitar lesiones.
Que pueda utilizarse en espacios cerrados, distintos a la sede de SENA Tecnoparque Bucaramanga	La estructura debe proteger los componentes del sistema de los factores ambientales propios de un espacio interno (goteras, humedad, polvo... etc.)
	El área de captura debe contar con un piso base para tener un área de captura uniforme y que minimice vibraciones.
	La estructura funcionará como una herramienta para uso a nivel regional.
La base de las cámaras debe ser firme para que no se muevan fácilmente y se desconfigure el	La estructura debe soportar el peso de las cámaras que conforman sistema básico de captura de movimiento y los elementos que las conectan a éste.

sistema.	La estructura debe contar con propuestas de acople para soportar y ajustar las cámaras a la estructura en la posición determinada.
	La propuesta de acople cámara-estructura no debe interferir con el ángulo de visión de las cámaras.
	La propuesta de acople de cámaras debe ofrecer grados de libertad con rangos de ángulo predeterminados para ajustar las cámaras al ángulo de captura deseado.
Si va a ser una estructura encerrada supongo que el calor será bastante y se pueden generar malos olores por el sudor de los que la usen.	La estructura debe permitir la circulación de aire del exterior hacia el área de captura.
No hay lugar para transportar juntos los elementos como el traje y el bastón	La estructura debe poder ser transportada junto al sistema, el bastón de calibración y el traje de captura de movimiento.
Que se pueda transportar con facilidad	La estructura y sus elementos deben poder ser transportado con facilidad de un lugar a otro por el usuario.
Poder hacer capturas de secuencias de movimiento que se pueden usar para muchas aplicaciones, animación digital, videojuegos, diagnósticos médicos, fisioterapéuticos, en seguridad industrial, etc.	La estructura debe poder configurarse para diferentes tamaños áreas de captura, a necesidad de la toma deseada.
No hay iluminación para el que está operando el equipo de cómputo ni para que el que está usando el traje se ubique en el área de captura.	El área de captura será la única zona que estará aislada de luz solar, para que la persona que maneja el software pueda trabajar de manera independiente.
	La estructura contará con guías lumínicas para que el usuario del traje se ubique en el área de captura.
	Las guías de iluminación deben estar ubicados de manera equitativa sin influir negativamente en la captura de movimiento ni obstruyan el ángulo de visión de las cámaras.

Los cables de las cámaras quedan sueltos y es fácil enredarse con ellos. Es importante que los cables queden bien protegidos, pero de fácil acceso al desarmar o hacer mantenimiento.	Los cables deben ubicarse dentro del área de captura, de tal manera que no estorben al usuario del traje ni tampoco se quiebren fácilmente.
Que no sea difícil cambiar las piezas si una se daña.	La estructura debe permitir la fácil extracción de piezas dañadas/desgastadas si necesitan ser reemplazadas o hacerles mantenimiento.
	Los elementos que conforman las piezas de la estructura deben ser estandarizados y asequibles en el mercado colombiano.
	La estructura debe permitir un mantenimiento con herramientas fáciles de encontrar en el mercado colombiano.
En el caso que se agregaran más cámaras, que a la estructura se le pueda hacer la adaptación. Al sistema se le pueden adaptar hasta 32 cámaras.	La configuración de la estructura debe permitir la adaptación de soportes para una mayor cantidad de cámaras a futuro.
La vibración del piso no debe interferir con la captura de movimiento.	La estructura debe tener un piso base sobre el que interactúe el usuario, y que evite que la vibración de la superficie sobre la cual se sostiene afecte la captura de movimiento.
El techo, paredes y suelo no deben reflejar la luz.	Los componentes de la estructura y las superficies internas del área de captura no deben ser reflectantes.

#### 4.2.1 Jerarquización y agrupación de requerimientos FURPS

Al tener un listado de necesidades interpretadas como requerimientos, se procedió a listarlos de acuerdo al modelo FURPS <sup>35</sup> y a jerarquizarlos de acuerdo a la escala de valores propuesta en la metodología Ulrich-Eppinger<sup>36</sup>, en la cual los requerimientos se ordenan según el grado de importancia, siendo 3 muy importante y 1 poco importante.

<sup>35</sup> GRADY, CASWELL, Op. Cit.

<sup>36</sup> ULRICH, EPPINGER, Op. Cit.

Se calificaron como “Muy importantes” (3) los requerimientos relativos a las propuestas de la estructura para los factores de entorno, así como adaptación, portabilidad y ubicación de componentes del sistema de captura de movimiento y el efectivo cumplimiento de funciones de estos. El valor “Importantes” (2) se le otorgó a los requerimientos de la configuración de la estructura: armado y mantenimiento. Por último, como “poco importantes” (1), se calificaron los requerimientos relacionados al proceso de desarrollo del proyecto y a elementos que no tienen relación directa con las funciones principales de la estructura.

**Tabla 4, Tabla de jerarquización y agrupación de requerimientos.**

Tipo de requerimiento	Número	Requerimiento	Importancia
Funcionalidad	1	La estructura debe permitir el montaje de las cámaras en las distancias mínimas verticales a partir el suelo, recomendadas por el fabricante.	3
	2	La estructura debe aislar de luz solar a la zona de captura de movimiento.	3
	3	Los acoples deben garantizar sujeción y bloqueo entre las partes de la estructura.	3
	4	La estructura debe proteger los componentes del sistema de los factores ambientales propios de un espacio interior (goteras, humedad, polvo... etc.)	3
	5	La estructura debe contar con adecuadas propuestas de acople para adaptar las cámaras a la estructura.	3
	6	La estructura debe poseer un sistema de circulación de aire.	1
	7	La configuración de la estructura debe permitir la adaptación futura de soportes para una mayor cantidad de cámaras.	2
	8	La estructura debe evitar que las cámaras tengan obstáculos en el área de captura que entorpezcan el ángulo de visión y generen oclusión de los marcadores.	3
	9	La estructura debe soportar el peso de las cámaras que conforman sistema básico de captura de movimiento y de las piezas que hacen parte de ella.	2

	10	La estructura no debe vibrar cuando el usuario del traje realice movimientos sobre el área de captura, ya que eso afecta la captura de movimiento.	3
	11	Los componentes de la estructura no deben ser reflectantes.	3
Usabilidad	12	La estructura debe poder configurarse para que las cámaras estén siempre separadas entre sí a la misma distancia en el área de captura.	3
	13	Los elementos de acople entre los módulos de la estructura deben ser de fácil identificación.	2
	14	Se deben establecer guías de montaje para cada tipo de captura.	2
	15	El montaje de los módulos de la estructura se debe realizar en el menor número de pasos posibles y en poco tiempo.	2
	16	La estructura debe contar con piso base para tener un área de captura uniforme.	3
	17	La estructura contará con guías de iluminación distribuida en el área de captura.	2
	18	La estructura debe poder configurarse para diferentes tipos de captura (facial, corporal).	3
	19	El montaje de la estructura debe poder ser realizado por una sola persona en posición bípeda.	2
	20	La estructura no debe tener filos en las zonas de contacto con el usuario, para evitar lesiones.	2
	21	El piso del área de captura debe poderse guardar en la menor cantidad de piezas posibles.	2
	22	El peso de la estructura permite que sea fácil trasladarla de un lugar a otro.	2
	23	La estructura dispondrá de un medio por el cual para la persona que manipula el software se podrá comunicar con el usuario del traje.	3
Rendimiento	24	La estructura debe ser robusta para que soporte la manipulación ruda.	2

	25	La propuesta de acople de cámara debe ofrecer grados de libertad para ajustar las cámaras al ángulo de captura deseado.	3
	26	La estructura funcionará como una herramienta para uso a nivel regional.	1
	27	La propuesta de acople de cámara no debe interferir con el ángulo de visión de las cámaras.	3
	28	Las guías de iluminación del área de captura no deben influir negativamente en la captura de movimiento.	2
Soporte	29	La estructura debe poder ser transportada en el menor número de piezas por separado posible.	3
	30	Los elementos que conforman la estructura deben ser estandarizados y asequibles en el mercado colombiano.	1
	31	La estructura debe alojar los cables de las cámaras en una disposición que evite quiebres.	2
	32	Las piezas modulares de la estructura (piso, paredes, piezas estructurales, acoples) deben ser de fácil extracción si se necesitan reemplazar o hacerles mantenimiento.	2
	33	La estructura permite un mantenimiento con herramientas fáciles de encontrar en el mercado.	2

### 4.3 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Después de realizar la identificación de necesidades y jerarquización de requerimientos, se procede al establecimiento de las métricas.

*Tabla 5, Tabla de especificaciones del producto*

N° métrica	N° necesidad	Métrica	Importancia	Unidad	Rango
1	1	Distancia vertical a partir del suelo para el montaje de las cámaras.	3	cm	10< 200>

2	2	Aislamiento de entrada de luz a la zona de captura de movimiento.	3	Lux	0< 5>
3	3	Sistema de acople para armado de la estructura	3	Objetivo	Si
4	4	Protección del sistema de las condiciones ambientales de un entorno interior.	3	Normativa	IP54
5	5	Sistemas de acople para ajustar cámaras a la estructura	3	N/A	N/A
6	6	Sistema para circulación de aire exterior-área de captura.	3	Objetivo	Si
7	7	Diseño dispuesto para futura adaptación de cámaras	2	Número de dispositivos	1-16
8	8-27	Ángulos de visión de las cámaras	3	Grados	-60° a 60° (h) -60° a 60° (v)
9	9	Módulos estructurales que soporten el peso de las cámaras y acoples.	2	Resistencia material	NTC 5832
				Kg	12
10	10	Vibración del área de captura	3	MMI	<6
11	11	Componente de la estructura hechos de un material no reflectante.	3	GU	<10
12	12-31	Cámaras separadas a la misma distancia entre sí	3	cm	>80 <210
13	13	Lenguaje de uso de elementos de acople de la estructura (identificación)	2	N/A	N/A
14	14	Guías de montaje	2	Objetivo	Si
15	15	Montaje de los componentes para la configuración de la estructura	2	Número de pasos (por componente)	2< 5>
				Segundos (por componente)	5< 20>
16	16	Piso base uniforme	3	Objetivo	Si

17	17-28	Guías de iluminación en el área de captura	2	Objetivo	Luces LED blanca
18	18	Dimensiones áreas de captura	3	Metros cuadrados	>4 m2 (capturas faciales) <20 m2 (capturas cuerpos en movimiento)
19	19	Montaje a ser realizado por una sola persona	2	N/A	N/A
20	20	Acabados redondeados en zonas de contacto con el usuario	2	mm	0,3<
21	21	Piso modular	2	Número de piezas	1< 10>
22	22	Peso total de la estructura	2	Kg	<80
23	23	Medio para comunicación usuario del traje - usuario del software	3	N/A	N/A
24	24	Estructura robusta	2	N/A	N/A
25	25-27	Ángulo de movimiento de las cámaras	3	Grados de libertad	Vertical +30/-30 Horizontal +30/-30
26	26	Aprovechamiento de la propuesta a nivel regional	1	N/A	N/A
27	29	Diseño de estructura portátil	3	Objetivo	Si
28	30-33	Elementos y herramientas asequibles en Colombia	1	Objetivo	Si
29	32	Posibilidad de extraer piezas de la estructura para mantenimiento o reemplazo	2	Segundos	<60 300>
				Herramientas	<1 5>

				Número de pasos	<1 5>
--	--	--	--	-----------------	----------

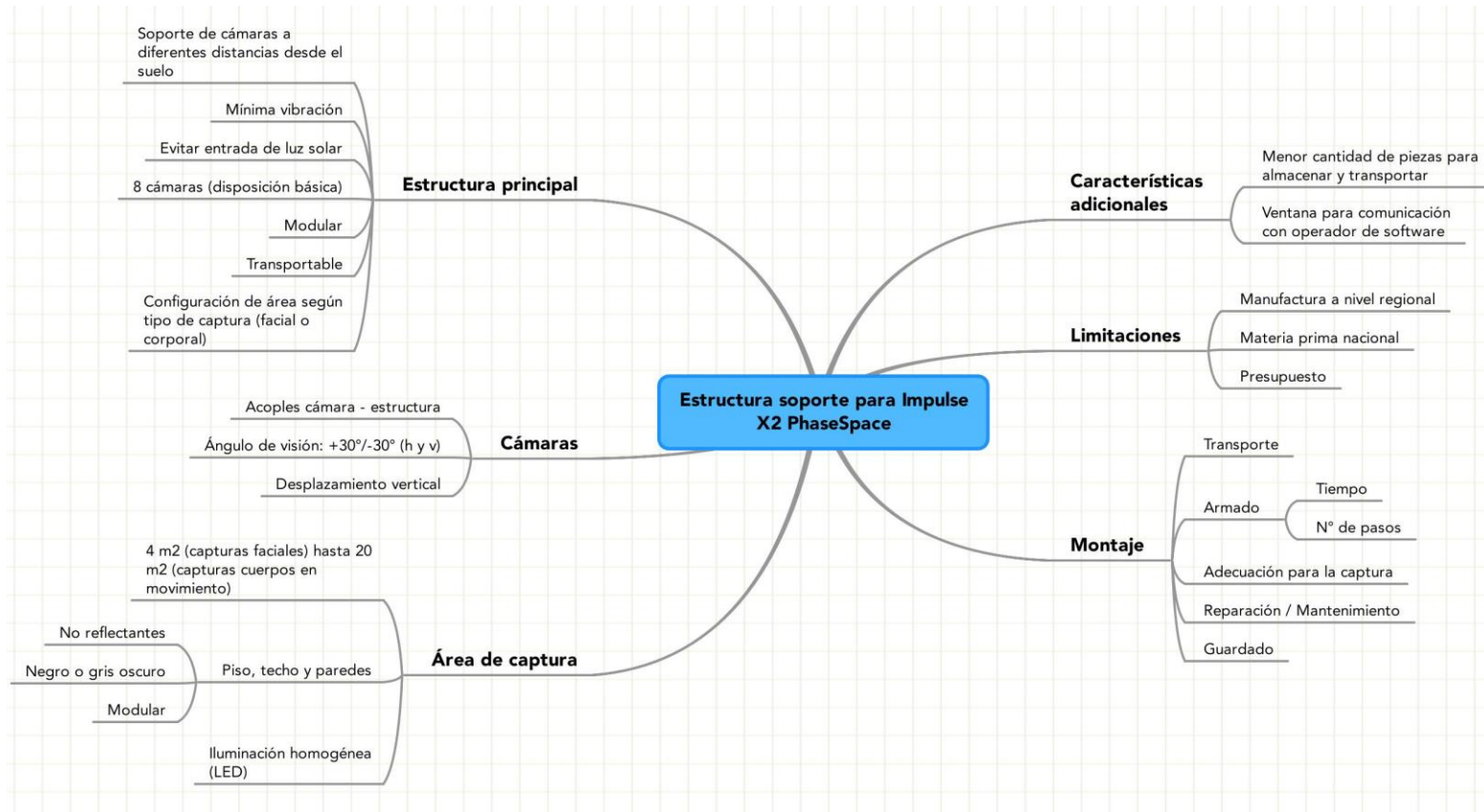
#### 4.4 GENERACIÓN DE CONCEPTO

Para abordar los problemas a solucionar en la estructura propuesta, se hizo una revisión a los requerimientos, marco teórico y al estado del arte para definir los parámetros por los cuales se guiaría el concepto. Para tener una visión más general de todos los aspectos, la información recopilada se condensó en un mapa mental (Fig. 29).

A partir del estado del arte, se determinó que la estructura tiene tres aspectos principales a considerar: el sistema de desplazamiento de cada cámara a la altura deseada, la fijación de los acoples de las cámaras a dicha altura y la configuración estructural del área de captura.

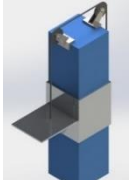
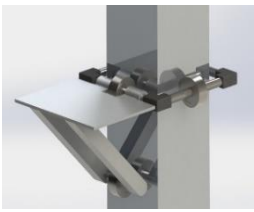
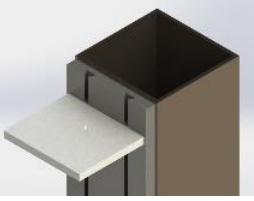
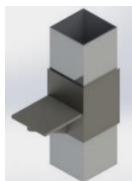
Para cada uno de estos aspectos, se realizó una lluvia de ideas en la que se plantearon principios que pudieran servir como propuestas de solución. Después de esto, se realizaron combinaciones entre las propuestas de cada aspecto para generar soluciones generales sobre las cuales desarrollar las alternativas.

Ilustración 29, Mapa mental del proyecto



#### 4.4.1 Desplazamiento vertical de cámaras

**Tabla 6, Principios usados para el sistema de desplazamiento vertical de las cámaras en la elaboración de alternativas**

Desplazamiento vertical de las cámaras				
Principio	Gráfico	Descripción	Ventajas	Desventajas
Poleas		En este sistema, el acople que sostiene la cámara es desplazado verticalmente por medio de una o dos poleas fijas.	Permite cambiar la dirección de la fuerza para manejar más fácilmente la elevación del acople. Hay menos fricción.	El esfuerzo no se disminuye y es complicado estabilizar con precisión el acople.
Ruedas		En este sistema, el acople que sostiene la cámara es un carro de desplazamiento que posee ruedas que dirigen el movimiento verticalmente sobre una barra.	Permite desplazamiento fluido y rápido.	Mantener lubricación en los rodamientos. Difícil reemplazo de rodamientos.
Guías		Se usa el principio de guías alineando la base de la cámara que tiene la sección macho de la guía con la sección hembra que va en el tubo vertical para así desplazarse en dicha dirección.	Permite desplazamiento estable y dirigido.	Mantenimiento en los rieles para que no haya resaltos.
Corredera		Un segmento de tubo se desliza sobre otro de dimensiones ligeramente más pequeñas.	No hay juego entre piezas. Deslizamiento fluido. Fácil control.	Necesita lubricante para evitar desgaste temprano del material.

Luego de analizar los anteriores principios, se escogió el de corredera, ya que se puede maniobrar fácilmente y no necesita de ayudas mecánicas ni de fluidos para desplazarse a través del tubo. Es de práctica implementación y su costo es considerablemente menor al de las demás opciones.

#### 4.4.2 Fijación del acople de las cámaras a la estructura

Tabla 7, Principios usados para el sistema de acople de las cámaras en la elaboración de alternativas

Acople de las cámaras				
Principio	Gráfico	Descripción	Ventajas	Desventajas
Pasador		El acople de la cámara se ajusta en la posición deseada de la barra de desplazamiento vertical, por medio de un pasador cilíndrico que se ubica en un orificio común a ella y a la barra.	Garantiza posición adecuada entre piezas.	Solo se puede ubicar en alturas predeterminadas. Piezas pequeñas (respecto al tamaño de la estructura) con las que toca tener el cuidado de no perderse.
Freno por fricción		La posición del acople de cámara se da por la aplicación de una fuerza que es transmitida mecánicamente por palancas, prensas, cables u otros mecanismos a los diversos puntos del frenado.	Facilidad de manipulación del sistema de frenado. Mantiene al acople en cualquier altura deseada sin que descienda.	Suele requerir frecuentes ajustes.
Servomotor		Por medio de un servomotor, se puede configurar tanto la posición como la velocidad del acople de la cámara.	Precisión y baja inercia.	Se necesita cableado y protección para dicho cableado. Mayor dificultad de reparación respecto a los otros principios.





El principio de freno por fricción y el principio de pasador fueron escogidos, ya que de los tres, ambos son manuales, económicos y soportan el peso de la cámara en la posición deseada sin deslizarse sobre el tubo.

#### 4.4.3 Configuración estructural del área de captura

Para los principios de ampliación de área de captura, se tuvo en cuenta que los propuestos: permitieran guardar las estructura por módulos o en una sola pieza, alistar la estructura para uso en pocos y sencillos pasos, que las cámaras siempre se mantengan a la misma distancia una vez armada la estructura y que el montaje

pueda ser realizado por una sola persona con herramientas de fácil consecución en el mercado.

**Tabla 8, Principios usados para la configuración del área de captura de movimiento**

Ampliación área de captura				
Principio	Gráfico	Descripción	Ventajas	Desventajas
Tijera		En este mecanismo, se le aplica fuerza a un punto y su reacción va a generar desplazamiento en una barra que esté conectado a él.	Movimiento homogéneo y poca fricción. No requiere aplicar mucho esfuerzo para provocar el movimiento de una barra.	Necesita sistema de anclaje.
Biombo		El biombo es un conjunto de varios paneles unidos, que se doblan, usados para separar interiores y espacios privados de un recinto más amplio	Ahorran espacio al guardarse. Permiten variar la extensión de una barra. No necesita anclajes.	Si no tiene una base adecuada o una distribución de ruedas idónea (si es móvil), puede ser inestable.
Navaja		Instrumento cortante cuya hoja está articulada de manera que puede plegarse y guardarse dentro de una ranura del mango o entre las dos piezas que lo forman.	Se puede desplazar en un sentido. Ahorran espacio por plegarse en sí mismo.	Se requerirían más pasos para armar la estructura, ya que cada módulo se pliega de manera individual.
Cuna plegable		Es una cuna que posee dos barras articuladas en cada uno de sus laterales y que una vez tensadas y fijadas con un sistema de seguridad en su extensión máxima, hacen que se inmovilice el perímetro de la misma.	Permite plegar toda la estructura en sí misma. Tener un sistema de seguridad le impide plegados accidentales una vez extendida.	Se debe especificar en el instructivo que los juegos de barras superiores se ajustan primero, si no, el armado se volvería complicado.

Para la generación de alternativas, se decidió utilizar principios que los que el plegado no afectara la estabilidad, y esos son: sistema tijera, navaja y biombo.

## 4.5 DESARROLLO DE ALTERNATIVAS

A continuación, se presentan las propuestas de alternativas elaboradas a partir del concepto planteado y de la combinación de principios escogidos.

### 4.5.1 Alternativa 1

La estructura del área de captura es modular, de forma octogonal y usa el principio mecánico de tijera para expandirse (Fig. 30 y Fig. 31). Cada módulo consta de dos láminas superior e inferior en las que encajan cuatro tubos: un tubo frontal (Fig. 32.a) para el posicionamiento de una cámara, dos tubos laterales (Fig. 32.b), que junto con una corredera (Fig. 32.c), permiten que dos barras se conecten con los dos módulos próximos, para formar el sistema de tijera y expandir a la estructura en conjunto y un tubo posterior (Fig. 32.d) que permite que el usuario que arme la estructura, la manipule para extenderla.

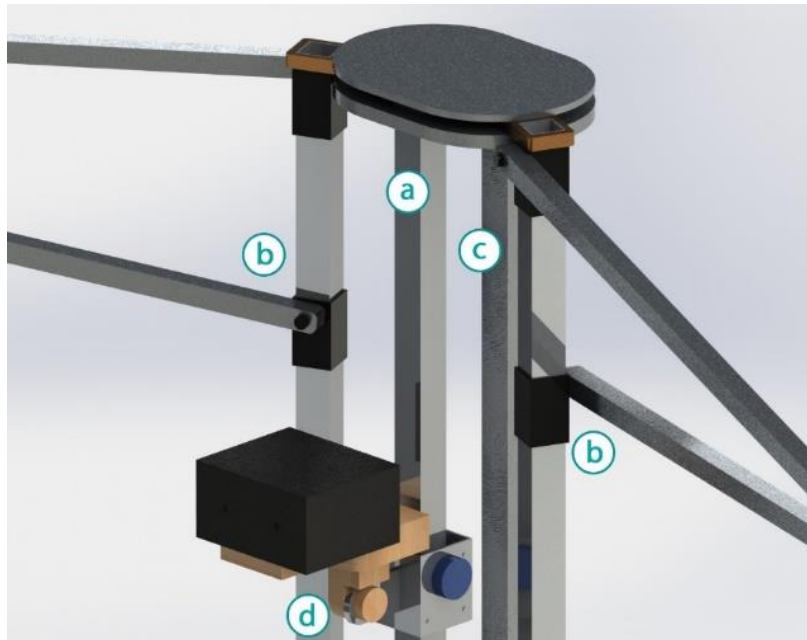
*Ilustración 30, Estructura octogonal expandida*



**Ilustración 31, Estructura octogonal cerrada**



**Ilustración 32, Detalle del módulo a) Tubo frontal b) Tubos laterales con correderas c) Tubo posterior d) Acople con cámara**

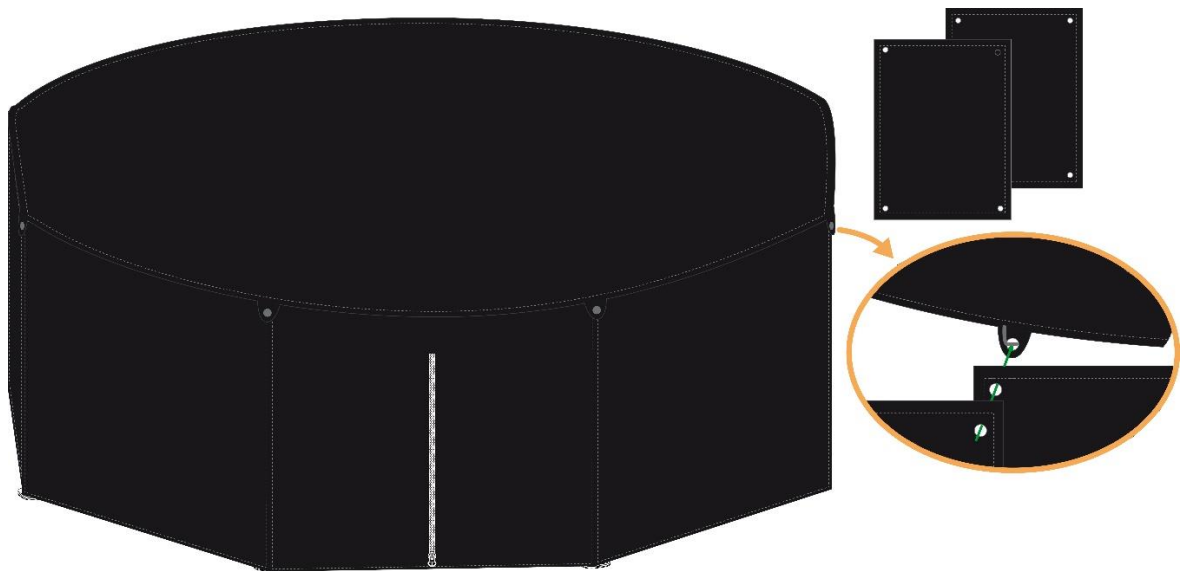


El acople que sostiene la cámara se desplaza verticalmente por el tubo frontal (Fig. 32.d) por medio de una corredera que se acopla a este tubo y que le permite

deslizarse fácil y de manera dirigida. La corredera se fija al tubo en la posición deseada por medio de un pasador que atraviesa a esta y al tubo frontal.

El techo de la estructura consta de una pieza octagonal que tiene ocho ojales y cada uno de ellos, va insertado en un gancho ubicado en la parte superior del tubo posterior del módulo. Cuando la estructura se expande, el techo también lo hace quedando tensado (Fig. 33).

*Ilustración 33, Cobertura del sistema y detalle del sostenimiento de las láminas y del techo.*

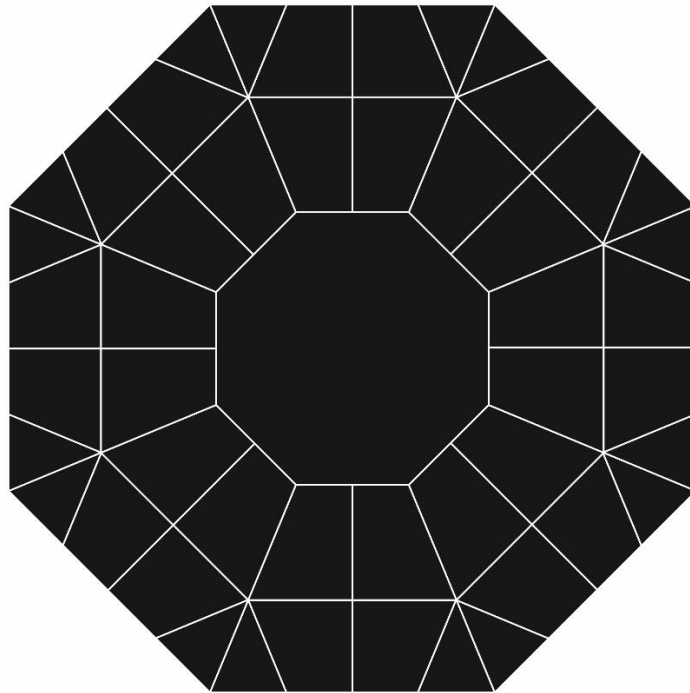


El sistema de aislamiento está diseñado a manera de láminas textiles con ojales en sus esquinas, que cubren por separado cada uno de los lados de la estructura y van sujetas en los mismos ganchos que el techo (Fig. 33). Tiene una ventana por la cual el operador del software se puede comunicar con el usuario del traje, ventanas que permiten que el aire circule hacia el interior pero que no entre luz exterior y cremallera en una de las láminas para permitir el ingreso del usuario al área de captura de movimiento.

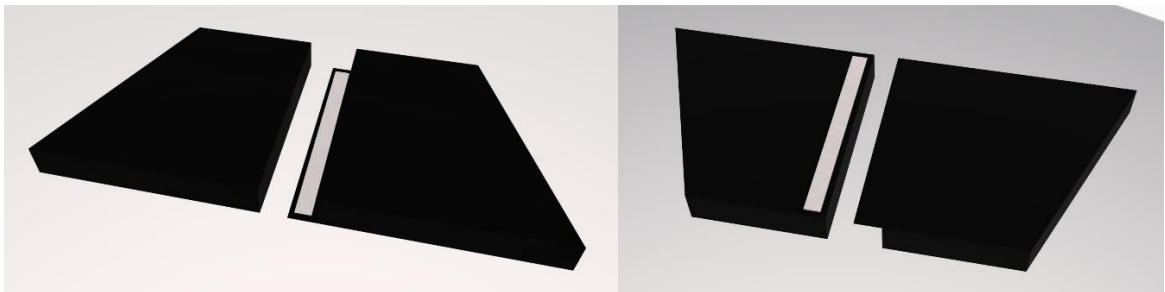
El piso está formado por un octágono de espuma de poliuretano, seccionado en triángulos y trapecios, que se pliega en sí mismo (Fig. 34). Si se desea reemplazar

una de las piezas que conforman el piso, se puede realizar fácilmente debido a que sus piezas están unidas entre sí con velcro (Fig. 35).

*Ilustración 34, Piso octagonal en espuma de poliuretano*



*Ilustración 35, Unión entre las piezas del piso octagonal*



#### **4.5.2 Alternativa 2**

La estructura del área de captura es modular y usa el principio de biombo. Consta de ocho paneles plegables unidos por medio de sus aristas laterales y cada uno de ellos, contiene de un marco que al desplegarse forma la estructura octagonal

principal (Fig. 36) y un submarco, que además de contener al tubo por el cual se desplaza el acople que soporta cada cámara, determina el ángulo de  $135^\circ$  que debe tener un panel respecto a otro para que se forme un octágono regular (Fig. 37).

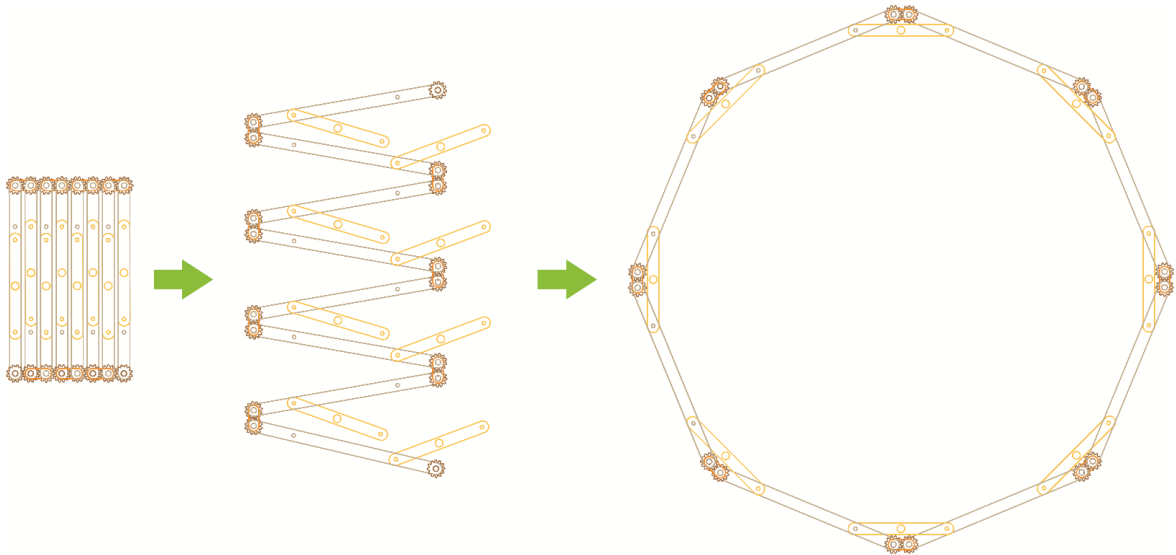
*Ilustración 36, Despliegue de estructura basada en el biombo*



*Ilustración 37, Submarco que permite establecer la estructura como octágono.*



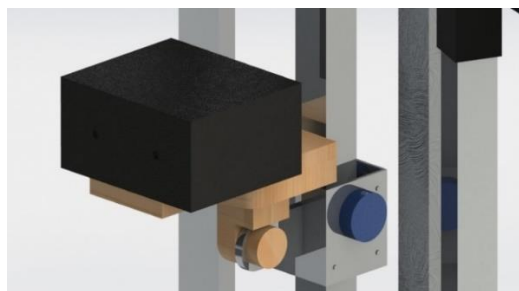
**Ilustración 38, Diagrama de despliegue de la alternativa 2**



Cada panel tiene un ángulo de giro de  $360^\circ$  sobre el otro, lo cual le permite plegarse y extenderse totalmente. Además, esta estructura tiene dos ruedas por panel, que le permite direccionarse hacia el ángulo deseado con estabilidad.

El acople que sostiene la cámara se desplaza verticalmente por el tubo frontal que se encuentra en el submarco, por medio de una corredera que se acopla a este tubo y que le permite deslizarse fácil y de manera dirigida. La corredera se fija al tubo en la posición deseada por medio de un pasador que atraviesa a esta y al tubo frontal (Fig. 39).

**Ilustración 39, Acople de la cámara fijado al tubo del submarco por medio de un pasador**



El techo de la estructura consta de una pieza octagonal con ocho ojales en extremos y cada uno de ellos, se une por medio de broches a los paneles laterales que recubren la estructura. Al abrocharse totalmente, el techo queda tensado.

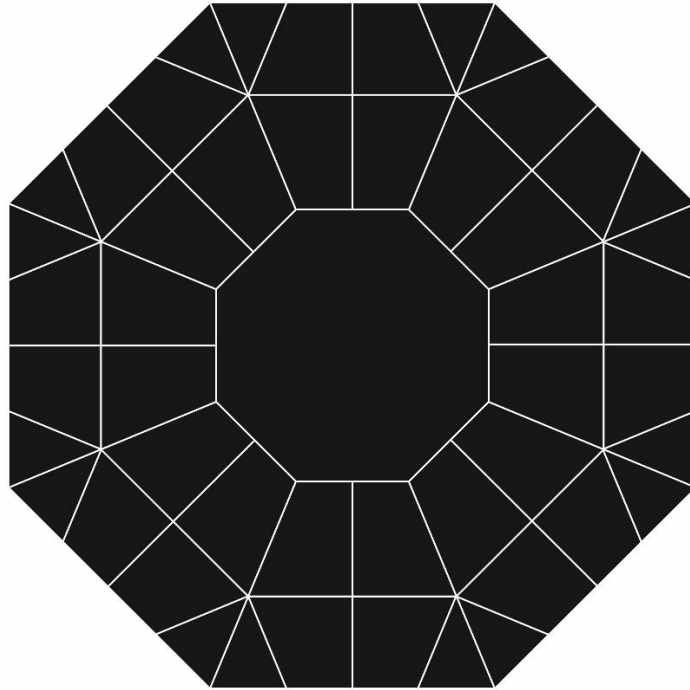
El sistema de recubrimiento lateral está diseñado a manera de láminas textiles con ojales en sus esquinas, que cubren por separado cada uno de los lados de la estructura y van sujetas a los marcos de cada uno de los paneles de la estructura y también a los mismos broches que el techo (Fig. 39). Una de las láminas tiene una ventana por la cual el operador del software se puede comunicar con el usuario del traje, otra lámina con cremallera central para que entre el usuario del traje y otras tienen ventanas que permiten que el aire circule hacia el interior pero que no entre luz exterior.

***Ilustración 40, Paneles laterales de la alternativa 2***

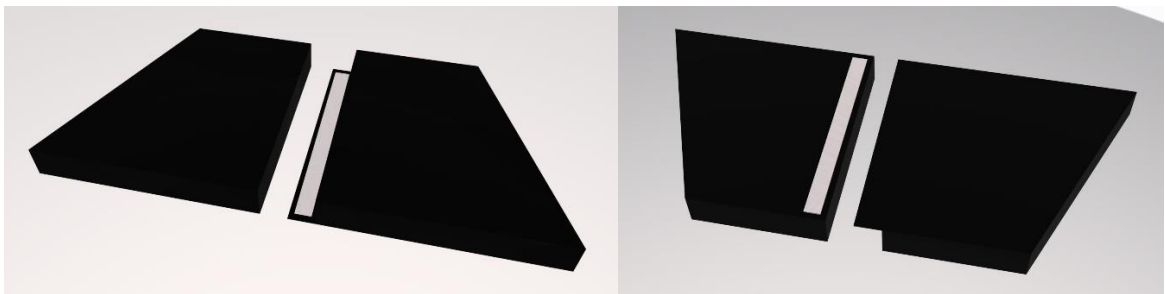


El piso está formado por un octágono de espuma de poliuretano, seccionado en triángulos y trapecios, que se pliega en sí mismo (Fig. 41). Si se desea reemplazar una de las piezas que conforman el piso, se puede realizar fácilmente debido a que sus piezas están unidas entre sí con velcro (Fig. 42).

*Ilustración 41, Piso octagonal en espuma de poliuretano*



*Ilustración 42, Unión entre las piezas del piso octagonal*



### **4.5.3 Alternativa 3**

La estructura que sostiene el sistema de captura de movimiento utiliza formas geométricas rectangulares como principio formal. Con sus ocho módulos individuales, la estructura se puede configurar en forma de octágono (Fig. 43). Cada uno de los módulos, consta de: un tubo frontal sobre el cual se desplaza verticalmente el acople que sostiene la cámara, un tubo posterior al cual van

ajustados los elementos que lo recubren y dos tubos a cada lado que pivotan sobre ejes fijos arriba y abajo respectivamente. Estos tubos laterales se despliegan de la misma forma que se saca la hoja de navaja, para conectarse a los módulos de su izquierda y de su derecha, y se fijan a estos módulos por medio de pasadores (Fig. 44).

**Ilustración 43, Estructura octogonal armada con módulos independientes**

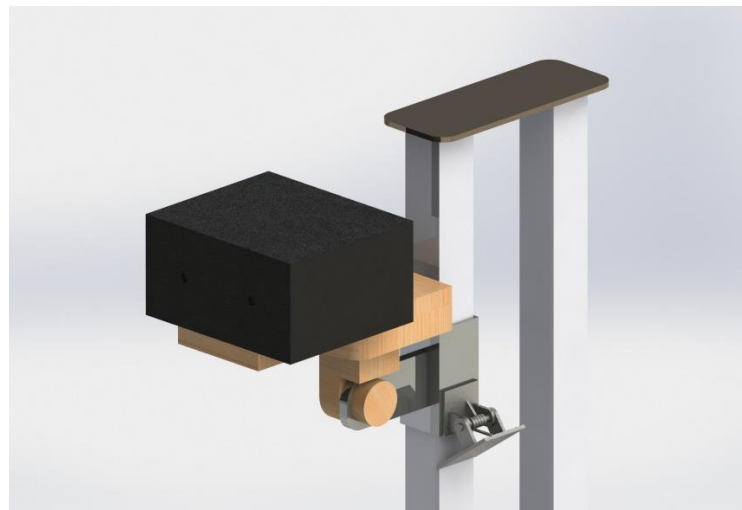


**Ilustración 44, Despliegue modular basado en el funcionamiento de una navaja**



Cada cámara se encuentra soportada sobre un acople, en el cual la cámara puede girar vertical y horizontalmente para orientarla hacia donde se desea que capture información. A su vez, este acople está unido a un tubo vertical por medio de una corredera que se desliza sobre él para así poder posicionar a la cámara en la altura deseada y fijarla en dicha posición, por medio de un freno a fricción (Fig. 45)

***Ilustración 45, Detalle cámara sobre acople y fijada por freno***



El techo de la estructura consta de una pieza circular que tiene ocho ojales y cada uno de ellos, va insertado en un gancho ubicado en la parte superior del tubo posterior del módulo.

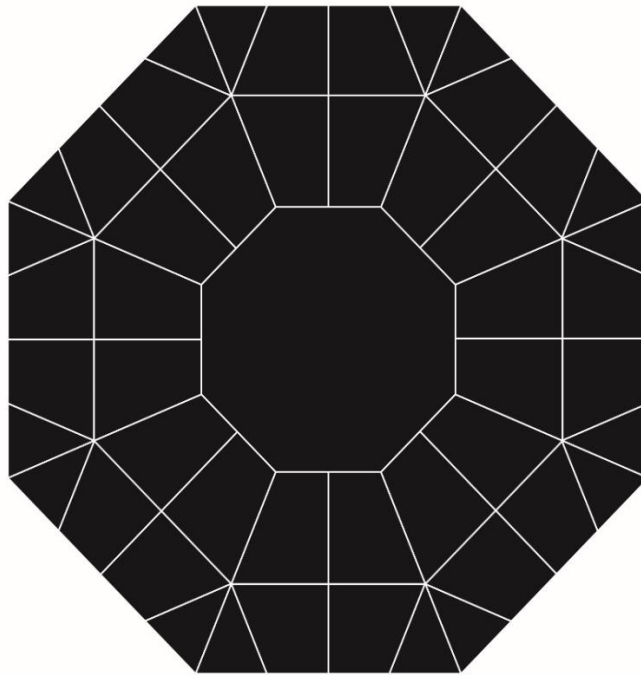
El sistema de aislamiento está diseñado a manera de ocho cortinas que van soportadas sobre los tubos horizontales que conectan un módulo con otro. Además de esto, tienen un ojal por el cual se enganchan en la parte posterior del tubo posterior (Fig. 46).

**Ilustración 46, Recubrimiento propuesto para la alternativa 3**

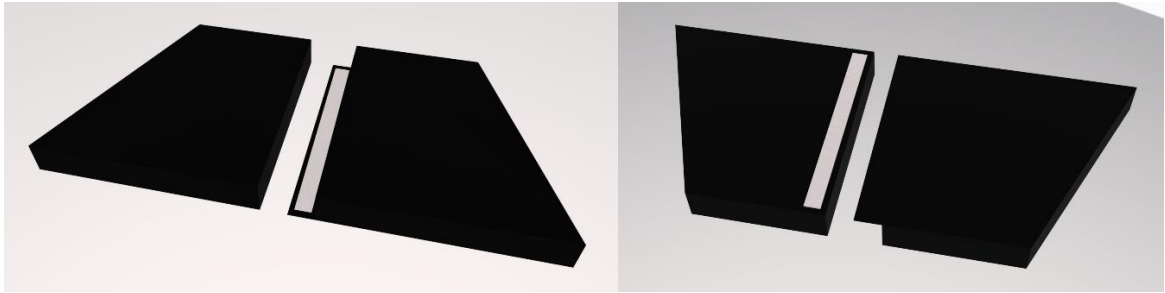


El piso está formado por un octágono de espuma de poliuretano, seccionado en triángulos y trapecios, que se pliega en sí mismo (Fig. 47). Si se desea reemplazar una de las piezas que conforman el piso, se puede realizar fácilmente debido a que sus piezas están unidas entre sí con velcro (Fig. 48).

**Ilustración 47, Piso octagonal en espuma de poliuretano**



*Ilustración 48, Unión entre las piezas del piso octagonal*



## 4.6 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Todas las alternativas deben ser evaluadas en cuanto cumplimiento de los requerimientos para determinar la continuidad. La evaluación de alternativas se realizará con una escala de Likert (Likert, 1932), para obtener una alternativa que se evolucionará y continuará al proceso de diseño de detalle.

### 4.6.1 Protocolo de evaluación de alternativas

**Objetivo:** Evaluar las alternativas presentadas de acuerdo a los requerimientos planteados.

**Perfil de participantes:** Gestores virtuales de la línea de Tecnologías Virtuales SENA Tecnoparque.

**Número de participantes:** 2

**Lugar:** Grupo Interfaz de la Escuela de Diseño Industrial de la Universidad Industrial de Santander. Oficina 304C. Edificio Mamitza Bayer. Bucaramanga.

**Herramientas:** Presentación en PowerPoint de las alternativas de diseño. Maquetas de las alternativas. Formato de evaluación con escala de Likert (**Ver formato en Anexo B**).

**Metodología:** Para la presentación y evaluación de alternativas, se concertaron citas de aproximadamente una hora de duración, con cada uno de los expertos. En cada una, se hizo el respectivo saludo, una breve introducción del proyecto que se está realizando, su objetivo y el motivo por el cual se requirió de él para el desarrollo de este. A continuación, se realizó una exposición personal a cada experto, explicándole y mostrándole imágenes y maquetas de las propuestas de alternativas de solución.

Después de resolver dudas sobre cada una de ellas, a los expertos se le asignó un formato de evaluación en el cual se valoró de 1 a 5 el cumplimiento de requerimiento por parte de cada alternativa, siendo 1 el puntaje más bajo (no se cumple el requerimiento) y 5 el más alto (se cumple satisfactoriamente el requerimiento). La valoración asignado a cada requerimiento por cada experto, fue multiplicado por la el valor de importancia de cada uno para obtener un subtotal por requerimiento. Para cada una de las alternativas, se sumaron los subtotales para obtener un total. El puntaje total que cada participante dio a cada alternativa, se promedió con el del otro participante para así tener un puntaje total por alternativa y poder escoger una propuesta final. **(Ver Anexo B)**

#### 4.6.2 Presentación de resultados

A continuación, se presenta una tabla con las calificaciones que le brindaron los expertos consultados a las alternativas presentadas.

**Tabla 9, Resumen de resultados de la evaluación de alternativas**

Experto	Alternativas		
	1	2	3
1	350	326	339
2	315	312	302
Total (sumas parciales / 2)	333	319	320,5

#### Observaciones de los expertos encuestados:

- La alternativa 1 es la mejor estructurada en cuanto al requerimiento de transportabilidad, ya que para su utilización solamente necesita ser desplegada.
- El sistema de freno a fricción es mejor que el de pasador y debería considerarse su escogencia independientemente de la alternativa que quede se siga desarrollando. El de pasador es difícil de ubicar en un orificio cuando la cámara se tiene que posicionar a una altura superior a la de la altura de los ojos de la persona que está preparando la estructura para realizar una captura.
- En vez de utilizar ganchos para sujetar el techo y el recubrimiento lateral, podría hacerse uso de los tornillos que vayan a acoplar el tubo posterior a la base superior. Así se ahorra material, se evita la construcción de un elemento adicional y se soportan mejor las piezas textiles.
- Aunque las tres alternativas pueden ser armadas por una sola persona, se recomienda que la propuesta final sea armada entre dos o tres personas. Mientras una despliega la estructura o módulos de la estructura, la otra u otras pueden ir asegurando sus partes en sus posiciones definitivas. Es más seguro y también rápido.
- Uno de los expertos sugiere no incluir ventanas para ventilación ni cremalleras para ingreso. Las capturas de movimiento son de pocos minutos de duración (por ende la circulación de aire no es un factor problema) y es preferible evitar la elaboración de elementos sobre los laterales que podrían afectar los factores ambientales que se quieren conseguir con la estructura.

#### **4.7 Propuesta final**

La evaluación de alternativas arrojó como resultado la escogencia de la alternativa 1, como la propuesta a continuar el proceso de diseño de materialización y de detalle. Se tendrán en cuenta las sugerencias de los expertos en cuanto a cambiar

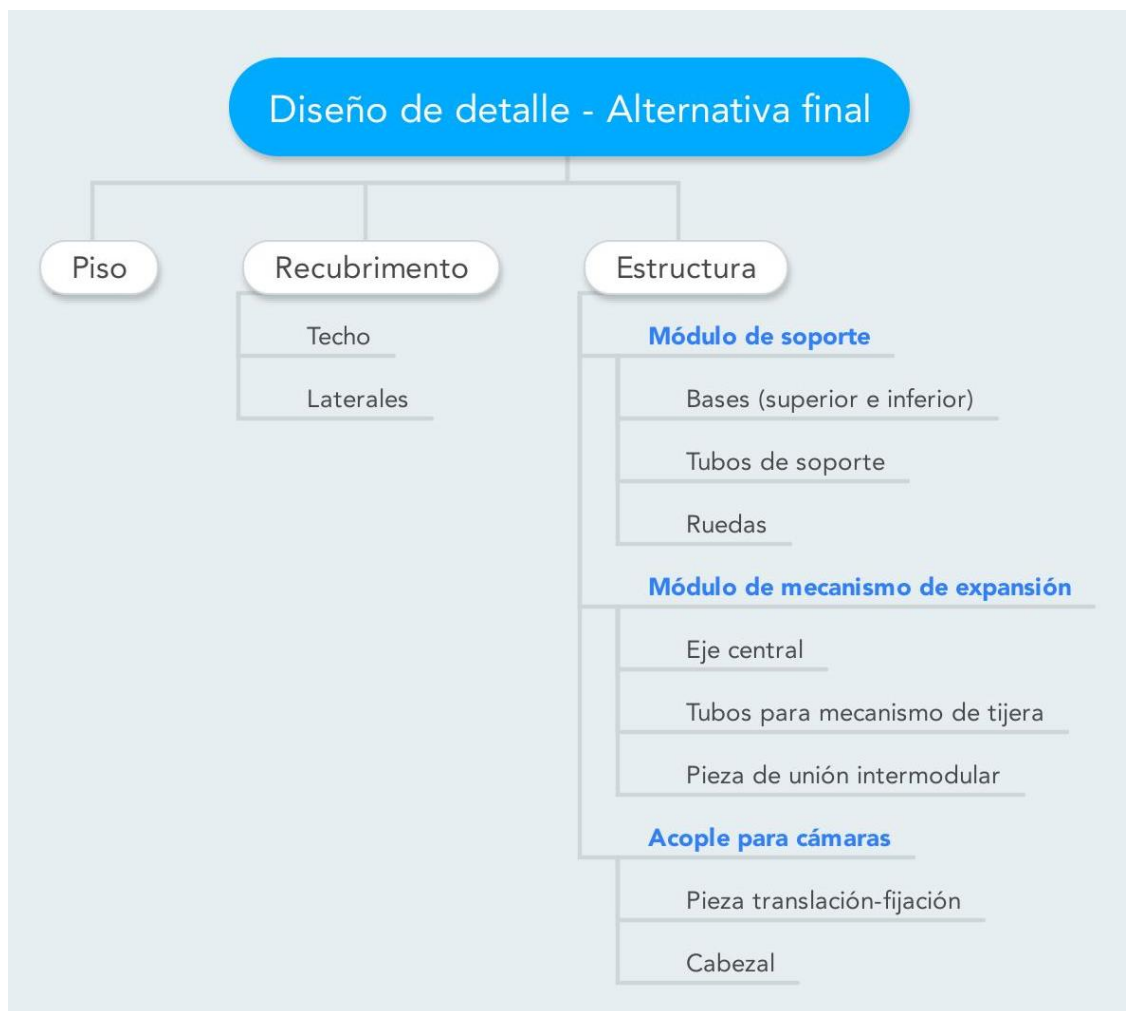
el sistema de fijación del acople de la cámara por freno a fricción en vez de pasador y la de utilizar los mismos ejes que unen los tubos posteriores de cada módulo a su respectiva base superior, como punto de soporte para el recubrimiento superior (techo) y los recubrimientos laterales (paredes).

Además, la propuesta tendrá la opción de usarse a su apertura máxima de área para tomas de cuerpo entero (1-2 personas) o a un área menor, ya sea para realización de captura de movimiento facial o porque se dispone de un espacio con área menor a la de la mayor extensión de la estructura.

## 5. DISEÑO DE DETALLE

En este paso se completó la determinación de las piezas y preparar la documentación del producto para la fabricación. Los resultados de esta actividad se presentan mediante especificaciones de detalles faltantes de las piezas, listado de componentes y análisis estructurales. Para facilitar esta etapa, la alternativa final se dividió en tres grupos: estructura, recubrimiento (techo y paredes) y piso; como se muestra a continuación:

*Ilustración 49, Mapa mental de estructuración de la alternativa final*

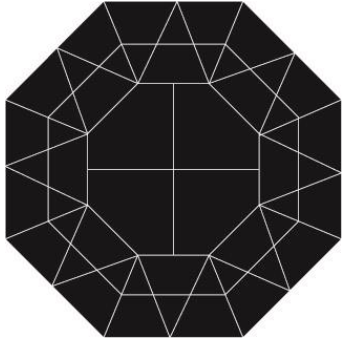

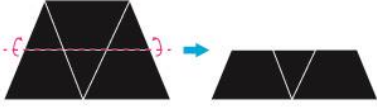


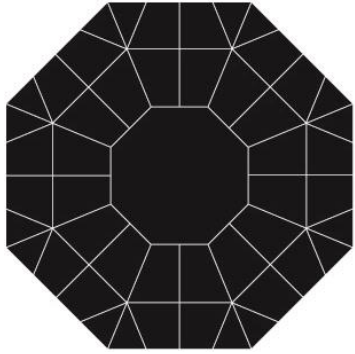
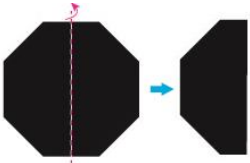
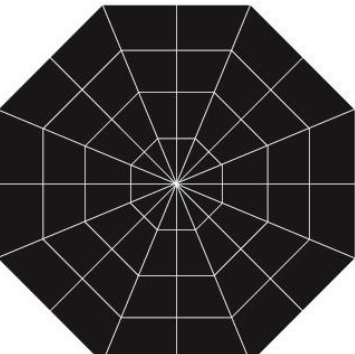
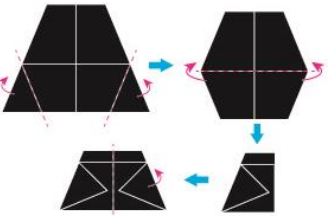
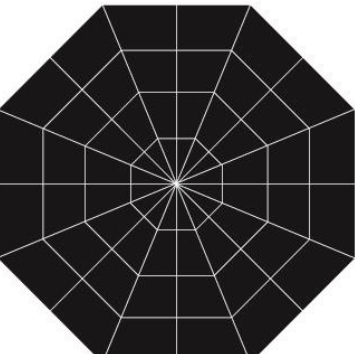
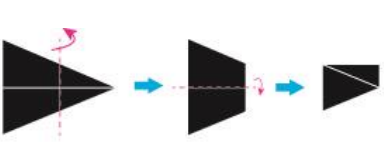
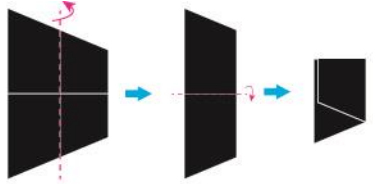
## 5.1 PISO

El piso del área de captura es una superficie independiente a la estructura, cuya función principal es absorber el impacto del movimiento realizado por el usuario del traje en el área de captura para que la vibración originada, no sea transmitida a las cámaras por medio y por ende, se pierda la calibración. Además, debe ser modular para poder reducir su área cuando la estructura deba hacerlo por requerimiento de captura de movimiento facial o por limitante del espacio disponible. La modularidad en el piso también facilita la extracción de sus componentes en caso de tener que hacer mantenimiento o reemplazo de las mismas.

Se partió de un octágono a escala 1:10 y sobre él, se hicieron propuestas de seccionamiento con las que el piso pudiera cumplir con las características deseadas. A continuación, se muestra una tabla comparativa con dichas propuestas:

**Tabla 10, Propuestas de seccionamiento para piso del área de captura**

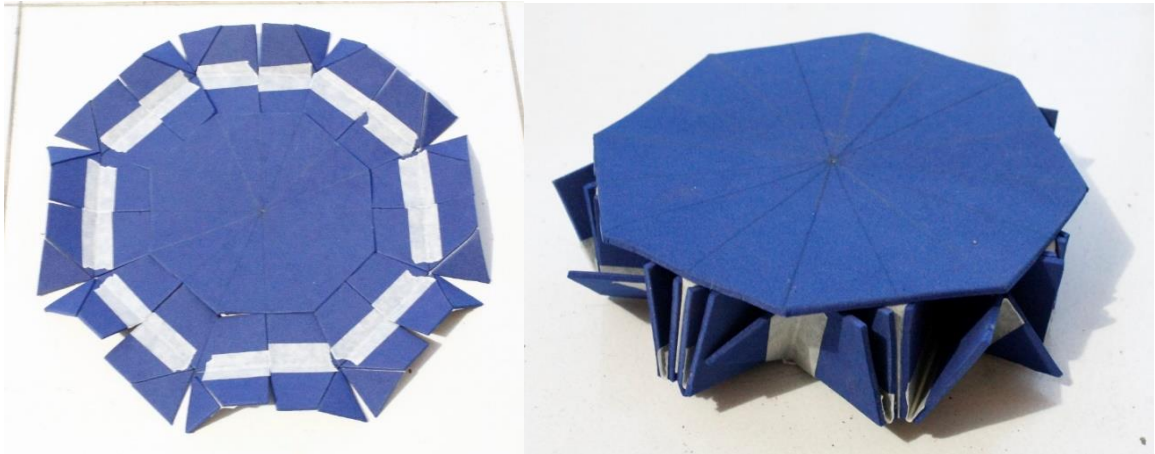
Propuesta	Módulos básicos para guardado		Diámetro del área mínima para captura de movimiento
	Cantidad submódulos	Submódulos	
	4		2,40 metros
	9		

	9	1		1,90 metros
		8		
	16	8		1,20 metros
		8		

La propuesta escogida fue la segunda: además de que la parte central está conformada por un solo módulo (se elimina la posibilidad de que las piezas se desplacen al moverse sobre ellas), de las tres propuestas es la que se almacena en la mínima cantidad de piezas.

Se realizó un modelo físico a escala 1:10 en goma eva para tener un esquema real de la propuesta (Fig. 50).

*Ilustración 50, Propuesta escogida para el seccionamiento y plegado del piso del área de captura*





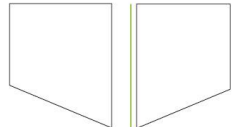

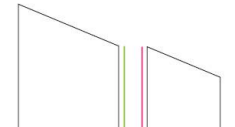

### **5.1.1. Determinación de geometrías, materiales y procesos del piso**

En la tabla 12, se muestra la forma y cantidad a fabricar de cada módulo elemental del piso y la cantidad de material necesaria para replicar en producción. El material escogido fue Lona Caribe, producida por la empresa Proquinal, caracterizada por buena elongación, resistencia al desgaste por uso, impermeabilidad, facilidad de limpieza y además permite el sellado y costura.

Para establecer la disposición de las cintas de velcro que permiten la unión y plegado entre módulos, se establecieron las siguientes convenciones en cada módulo elemental: línea fucsia significa que la cinta de fibra sobresale del módulo en su arista paralela inferior, línea verde significa que la cinta de fibra sobresale del módulo en la arista paralela superior (Tabla 11).




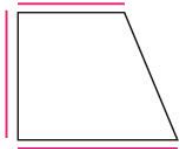
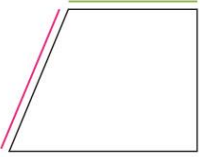
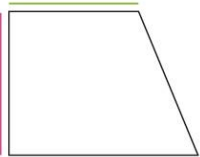
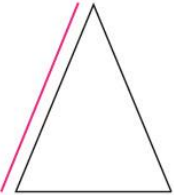
Los planos para producción se encuentran en el **ANEXO C**. El plano para cada módulo sirve para corte de espuma y para corte de lonas. Para cada módulo elemental, se corta una pieza de espuma y dos de lona (con 5mm de holgura) y se ubica la cinta de velcro en las aristas según se indica en la tabla 12. El proceso de manufactura de módulos se indica en la tabla 13.

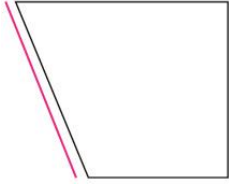
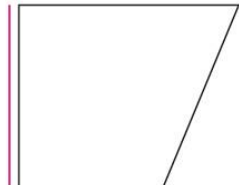
**Tabla 11, Disposición de cintas de velcro para unión entre módulos**

Convención	Ubicación de cintas de velcro (vista lateral)
	
	
	

**Tabla 12, Tabla resumen para fabricación del piso: formas, materiales y cantidades**

Piso		
Material	Cantidad	Procesos
Lona Caribe (marca Proquinal) Color: Negro. Peso: 480 gr/m <sup>2</sup> Ancho: 1,4 m	40 m	1. Patronaje 2. Corte de espuma 3. Corte de lona 4. Corte de velcro 5. Costura de velcro 6. Costura de módulos
Velcro 50 mm Color: Negro	66 m	
Espuma de poliuretano. Calibre: 4 cm Densidad: 26 (rosada). Dimensiones de lámina: 1m x 2m	17 láminas	
Módulos elementales (Ver ANEXO C)		
Letra para identificación	Cantidad	Forma (cortar dos caras por cada una)

A	2	1	
		1	
B	16	8	
		8	
C	16	8	
		8	
D	16	16	

E	16	8	
		8	
Total módulos		66	

**Tabla 13, Proceso de manufactura del piso**

Proceso de manufactura del piso			
Proceso	Herramientas	Descripción	Tiempo
Patronaje	Programa para vectorizado	A partir de los planos, se imprimen los planos a tamaño real y se cortan al ras.	2 horas
	Plotter		
	Tijeras		
Corte de espuma	Bisturí	Se corta la cantidad de módulos en espumas especificado en cada plano.	6 horas
Corte de lona	Tijeras	Basándose en los planos para corte de espuma (tener en cuenta 5mm adicionales de vuelo), se cortan dos piezas de lona por cada módulo de espuma.	10 horas
Corte de velcro	Tijeras	Se procede a cortar el velcro necesario por arista.	2 horas
Costura de módulos	Máquina de coser para tapicería	Utilizando como referencia el plano de disposición para cintas de velcro (Anexo C), se cose cada módulo al revés, junto a las cintas de velcro debidamente ubicadas. Se deja sin costura una arista de cada módulo para introducir la espuma.	32 horas
Relleno y costura	Máquina de coser para tapicería	Se voltea al derecho cada módulo, se introduce en cada uno el	24 horas

final	correspondiente relleno de espuma y luego, se cose la arista faltante.
-------	--

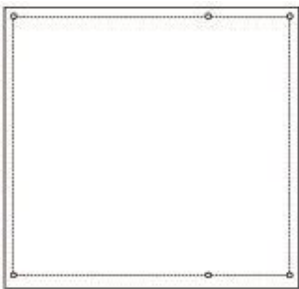
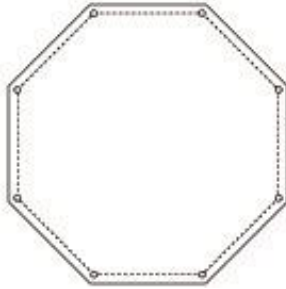
## 5.2. RECUBRIMIENTO (TECHO Y LATERALES)

Tanto el techo como los laterales deben estar hecho de un material oscuro (gris oscuro o negro) y no reflectante. Además, debe ser fácil de limpiar, liviana, que tenga buena elongación y durabilidad. Por estas razones, se escogió la lona Parasol producida por la empresa Plastextil, hecha en PVC color negro.

Uno de los requisitos es que los laterales fueran modulares, ya que eso facilita el montaje, mantenimiento o el reemplazo (si hay un daño irreparable). El techo se decidió hacer de una sola pieza, porque eso elimina la posibilidad de que entre luz al área de captura por medio de algún espacio entre módulos. Dada la tensión que laterales y techo recibirían, también se estableció hacer dobladillo en todas las piezas y reforzarlos por proceso de vulcanizado, esto les da mayor resistencia. Por medio de ese mismo proceso, se le colocaron ojales plásticos en las esquinas de cada pieza debido a que por su elasticidad, resisten más la tensión que los metálicos que se usan normalmente para lonas. Como también la estructura se configuró para ser ajustable a diferentes dimensiones de áreas de captura, se ubicaron ojales adicionales para tensar techo y paneles laterales cuando el área de captura es menor a la de la máxima extensión de la estructura. Por sugerencia de los expertos, se decidió dejar los paneles laterales lisos (sin elementos como ventanas para ventilación) para eliminar las posibilidades de que alguna textura o entrada de luz interfieran al realizar una captura de movimiento.

En la siguiente tabla, se establece la forma y cantidad a fabricar del módulo de los laterales, del techo y la cantidad de material necesaria para replicar en producción. Los planos se encuentran en el **Anexo D**.

**Tabla 14, Tabla resumen para la fabricación de los laterales y del techo**

Techo y paneles laterales		
Material	Cantidad	Procesos
Lona Pasarela. Marca Plastextil. PVC con filtro UV	50 metros	1. Corte 2. Vulcanizar dobleces. 3. Colocar ojales.
Ojales plásticos. Diámetro: 1 pulgada.	64 unidades	
Iluminación LED en manguera	16 metros	Componente para montaje
Pieza	Cantidad	Forma
Panel lateral	8	
Techo	1	
<b>Total</b>	<b>9</b>	

**Tabla 15, Proceso de manufactura de laterales y techo.**

Proceso de manufactura: laterales y techo			
Proceso	Herramienta	Descripción	Tiempo
Corte	Tijeras	Teniendo en cuenta los planos del Anexo D, se cortan las piezas de lona para el recubrimiento lateral y de techo.	3 horas

Vulcanizar dobleces	Termoselladora	Después de calentar la máquina, se hace el dobladillo (planos) en las aristas de cada pieza de lona y se presan con la termoselladora.	4 horas
Colocar ojales	Perforadora	Se marca la posición de los ojales y en cada ubicación, se hace un orificio del diámetro deseado. Un ojal se centra en un orificio y se procede a termosellar para adherir el ojal a la lona. Se repite este proceso para cada orificio.	2 horas
	Termoselladora		

### 5.3 ESTRUCTURA

Para la construcción de la estructura, se escogió el acero al carbono (al 0,25%) por su resistencia a la tensión, maleabilidad y facilidad al soldar. Para reducir peso y así facilitar la manipulación y transporte de la estructura, se decidió hacer algunas piezas en aluminio, el cual además de su baja densidad, es resistente a la corrosión, fácil de mecanizar y tiene larga vida útil.

A continuación, se presenta una tabla que contiene las especificaciones de cada pieza, los materiales y su proceso de manufactura. (Planos en **ANEXO E**)

**Tabla 16, Materiales y manufactura de la estructura**

Estructura					
Módulo de soporte	Base superior				
	Cantidad a construir		8		
	Manufactura unitaria				
	Cantidad	Componente	Herramienta	Proceso	Tiempo
	1	Lámina de acero CR. 20 cm x 25 cm. Espesor: 1/8"	Guillotina hidráulica	Guillotinado de láminas a medida	15 minutos
			Esmeril	Pulido de bordes	
Taladro de torre			Perforación		

4	Tubo cuadrado de 1" de acero CR. Calibre 14. 10 cm.	Tronzadora eléctrica	Corte de tubos a medida	20 minutos
		Centro-punto	Centro punteado para perforación	
		Martillo		
		Taladro de torre	Perforación	
		Esmeril	Pulido de pieza	
		Lima para metal		
		Soldadura de arco	Soldado de tubos a la lámina de acero	
2	Eje en acero CR. Diámetro: 5/16". Largo: 3,3cm	Tronzadora eléctrica	Corte de tubo a medida	20 minutos
		Esmeril	Quitar rebaba	
		Soldadura de arco	Soldado de ejes a cada tubo	
3	Tornillo cabeza hexagonal acero CR. 1/4" x 1 1/2"	Componentes para montaje		
4	Arandela de 1/4". Acero CR			
1	Tornillo cabeza hexagonal. Acero CR. 1/4" x 2 1/2"			
2	Retenedor. Acero CR. 3/32"			
4	Tuerca 1/4". Acero CR.			
Base inferior				
Cantidad a construir		8		
Manufactura unitaria				
Cantidad	Componente	Herramienta	Proceso	Tiempo
1	Lámina de acero CR. 30 cm x 30 cm. Espesor: 1/8"	Guillotina hidráulica	Guillotinado de láminas a medida	15 minutos
		Esmeril	Pulido de bordes	
		Taladro de torre	Perforación	

4	Tubo cuadrado de 1" de acero CR. Calibre 14. 10 cm.	Tronzadora eléctrica	Corte de tubos a medida	20 minutos
		Centro-punto	Centro punteado para perforación	
		Martillo		
		Taladro de torre	Perforación	
		Esmeril	Pulido de pieza	
		Lima para metal		
		Soldadura de arco	Soldado de tubos a la lámina de acero	
2	Eje en acero CR. Diámetro: 5/16". Largo: 3,3cm	Tronzadora eléctrica	Corte de tubo a medida	20 minutos
		Esmeril	Quitar rebaba	
		Soldadura de arco	Soldado de ejes a cada tubo	
3	Tornillo cabeza hexagonal acero CR. 1/4" x 1 1/2"	Componentes para montaje		
4	Arandela de 1/4". Acero CR			
1	Tornillo cabeza hexagonal. Acero CR. 1/4" x 2 1/2"			
2	Retenedor. Acero CR. 3/32"			
4	Tuerca 1/4". Acero CR.			
<b>Tubos de soporte</b>				
Cantidad a construir		8		
<b>Manufactura unitaria</b>				
<b>Cantidad</b>	<b>Componente</b>	<b>Herramienta</b>	<b>Proceso</b>	<b>Tiempo</b>
4	Tubo cuadrado de aluminio de 3/4". Calibre 18. Largo: 197 cm.	Tronzadora eléctrica	Corte de tubos a medida	20 minutos
		Centro-punto	Centro punteado para perforación	
		Martillo		

			Taladro de torre	Perforación	
Módulo Mecanismo de expansión	Tubos para mecanismo de tijera				
	Cantidad a construir		8		
	Manufactura unitaria				
	Cantidad	Componente	Herramienta	Proceso	Tiempo
	2	Tubo cuadrado de aluminio de 3/4". Calibre 18. Largo: 185 cm.	Tronzadora eléctrica	Corte de tubos a medida	10 minutos
			Centro-punto	Centro punteado para perforación	
			Martillo		
			Taladro de torre	Perforación	
	1	Eje en acero CR. Diámetro: 5/16". Largo: 9cm	Tronzadora eléctrica	Corte de eje a medida	5 minutos
			Esmeril	Quitar rebaba	
			Taladro de torre	Perforación	
	2	Arandela de 5/16". Acero CR.	Componentes para montaje		
	2	Retenedor. Acero CR. 3/32"			
	Pieza de unión intermodular corredera-corredera				
	Cantidad a construir		4		
	Manufactura unitaria				
	Cantidad	Componente	Herramienta	Proceso	Tiempo
2	Tubo cuadrado 1" de acero CR. Calibre 16. 10 cm.	Tronzadora eléctrica	Corte de tubo a medida	15 minutos	
		Esmeril	Quitar rebaba		
2	Eje en acero CR. Diámetro: 5/16". Largo: 3,3cm	Tronzadora eléctrica	Corte de tubo a medida	15 minutos	
		Esmeril	Quitar rebaba		
1	Tubo cuadrado de 3/4" de acero CR. Calibre 16. 17 cm.	Tronzadora eléctrica	Corte de tubo a medida	20 minutos	
		Soldadura de arco	Soldado de ejes a cada tubo Soldado de tubo de 17 cm a tubos de 10 cm		

	2	Arandela 5/16". Acero CR.	Componentes para montaje		
	2	Retenedor. Acero CR. 3/32"			
	Pieza de unión intermodular corredera-prensa				
	Cantidad a construir		4		
	Manufactura unitaria				
	Cantidad	Componente	Herramienta	Proceso	Tiempo
	1	Tubo cuadrado 1" de acero CR. Calibre 16. 10 cm.	Tronzadora eléctrica	Corte de tubo a medida	5 minutos
			Esmeril	Quitar rebaba	
	1	Tubo rectangular de 2" x 1" de acero CR. Calibre 16. 10 cm.	Tronzadora eléctrica	Corte de tubo a medida	5 minutos
			Taladro de torre	Perforación	
			Esmeril	Quitar rebaba	
	1	Platina de 3/4" x 1/8". Acero CR. Largo: 17 cm	Tronzadora eléctrica	Corte platina a 10 cm	20 minutos
			Dobladora	Doblado	
			Soldadura de arco	Soldado de platina doblada a platina recta	
2	Eje en acero CR. Diámetro: 5/16". Largo: 3,3cm	Tronzadora eléctrica	Corte de eje a medida	10 minutos	
		Esmeril	Quitar rebaba		
		Soldadura de arco	Soldado de ejes a cada tubo		
1	Eje roscado de 5/16". Acero CR. Largo: 4,5 cm	Tronzadora eléctrica	Corte de eje a medida	10 minutos	
		Reductor de rosca	Reducción de diámetro en un extremo		
		Taladro de prensa	Perforación		
		Pinzas	Inserción de eje roscado al tubo de 2" x 1"		

	3	Retenedor. Acero CR. 3/32"	Pinzas	Inserción de retenedor en perforación del eje roscado	1 minuto
	1	Rosca mariposa. Acero CR. 5/16"	Soldadura de arco	Soldado de mariposa al eje roscado	2 minutos
	1	Tubo cuadrado de 3/4" de acero CR. Calibre 16. 17 cm.	Soldadura de arco	Soldado de tubo a los tubos cuadrado (1") y rectangular (2"x1")	1 minuto
	2	Arandela 5/16". Acero CR.	Componentes para montaje		
	1	Arandela 1/4". Acero CR.			
Acople para cámaras	Corredera translación-fijación de acoples para cámaras				
	Cantidad a construir		8		
	Manufactura unitaria				
	Cantidad	Componente	Herramienta	Proceso	Tiempo
	1	Tubo rectangular de 2" x 1" de acero CR. Calibre 16. 10 cm.	Tronzadora eléctrica	Corte de tubo a medida	15 minutos
			Taladro de torre	Perforación	
			Esmeril	Quitar rebaba	
	1	Platina de 3/4" x 1/8". Acero CR. Largo: 17 cm	Tronzadora eléctrica	Corte platina a 10 cm	30 minutos
			Dobladora	Doblado	
			Soldadura de arco	Soldado de platina doblada a platina recta	
	1	Platina de 1 1/4" x 3/16". Acero CR. Largo: 6 cm	Tronzadora eléctrica	Corte de platina a medida	30 minutos
Esmeril			Quitar rebaba y redondear bordes		
Soldadura de arco			Soldado de platina a cada tubo		
1	Eje roscado de 5/16". Acero CR. Largo: 4,5 cm	Tronzadora eléctrica	Corte de eje a medida	30 minutos	
		Esmeril	Pulido		

		Taladro de prensa	Perforación	
		Pinzas	Inserción de eje roscado al tubo de 2" x 1"	
1	Retenedor. Acero CR. 3/32"	Pinzas	Inserción de arandela y de retenedor en perforación del eje roscado.	1 minuto
1	Arandela 1/4". Acero CR.			
1	Rosca mariposa. Acero CR. 5/16"	Soldadura de arco	Soldado de mariposa al eje roscado	5 minutos
<b>Cabezal de cámaras</b>				
Cantidad a construir		8		
<b>Manufactura unitaria</b>				
Cantidad	Componente	Herramienta	Proceso	Tiempo
3	Lámina de madera de pino de 4,5 cm x 3,3 cm. Espesor: 1,8 cm	Sierra sinfín	Corte de láminas a medida	10 minutos
		Taladro de torre	Perforación según planos	15 minutos
1	Tornillo avellanado de 1/4" x 1 1/2". Acero CR.	Manual	Inserción de piezas de cabezal según plano (base inferior a base intermedia)	5 minutos
		Destornillador	Atornillado de base intermedia a base superior, según plano.	
3	Tuerca 1/4". Acero CR.			
1	Tornillo de cabeza hexagonal. 1/4" x 1 1/2". Acero CR	Máquina corte láser	Corte láser de perillas	5 minutos

	1	Perilla circular. MDF. 1" x 3/4".	Taladro de torre	Perforación de perillas	5 minutos
	1	Perilla circular. MDF. 1 1/2" x 3/4".	Destornillador	Inserción de tornillos de 1 1/2" y 1". Ajuste con tuercas de 1/4"	2 minutos

## 5.4 DETERMINACIÓN DE ACABADOS

Para la estructura se escogieron dos tipos de pintura. La pintura en la estructura, además de dar un acabado estético, debe cumplir con ser mate y negra para que en el área de captura no se generen reflejos de luz que puedan interferir en la captura. Los tubos de soporte y del mecanismo de tijera fueron cubiertos con pintura electrostática, debido a que necesitan un recubrimiento que proteja a la superficie de la fricción a la que son sometidos constantemente. El resto de piezas fueron pintadas con laca.

*Tabla 17, Recubrimientos de la estructura*

Recubrimientos			
Tipo de recubrimiento		Cantidad	Piezas
Pintura fondo gris	Laca negra mate	- 1/8 de galón de base gris. - 1/4 laca negra mate	Bases superiores (8)
			Bases inferiores (8)
			Pieza de unión intermodular corredera-corredera (4)
			Pieza de unión intermodular corredera-prensa (4)
			Corredera translación-fijación de acoples para cámaras (8)
			Cabezales para cámara (8)
Pintura electrostática. Negro mate. Acabado microtexturizado.		93 metros lineales	Tubos para soporte (32)
			Tubos para mecanismo de tijera (16)

## 5.5 ANÁLISIS ESTRUCTURALES

A continuación se muestran los estudios estáticos que se aplicaron a las piezas de la estructura que soportan cargas, con el fin de validar el diseño propuesto y comprobar que las formas y materiales no presentarían fatiga al momento de aplicar tensión sobre la estructura.

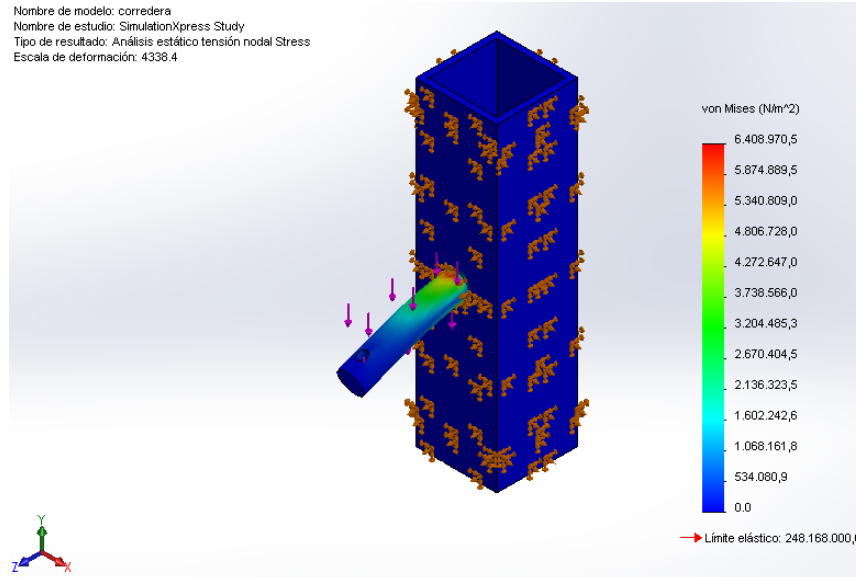
Para la realización del estudio, se utilizó el programa CAE SolidWorks. Las simulaciones se realizaron tomando en cuenta el peso de las cámaras, del techo y la tensión que ejercen los tubos del mecanismo de tijera sobre los ejes que los sostienen.

Las piezas que se analizaron son: los ejes de 5/16" de diámetros que se encuentran fijados a los tubos para bases y a las correderas, el eje central que une los tubos que forman el mecanismo de tijera y los tubos fijados a las bases (debido a que son los que soportan el peso de los recubrimientos laterales y el techo de la estructura).

### 5.5.1 Eje de 5/16" (ubicado en tubos para bases y correderas)

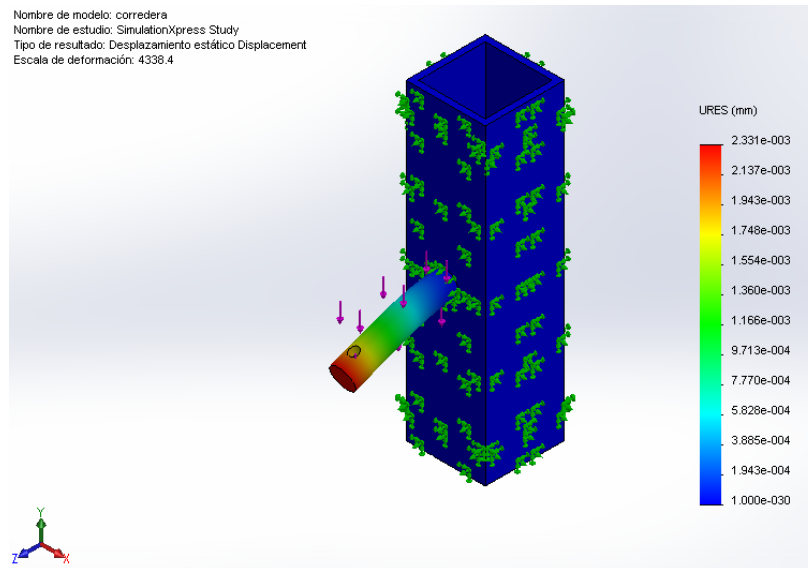
En la Figura 51, se observa que la zona más crítica en esta pieza es la unión entre el tubo y el eje, con una tensión aproximada de 6,4 MPa. La fuerza aplicada corresponde al valor obtenido por dividir el peso total de la estructura entre el número de ejes en los que se apoya. El límite elástico del material del eje y del tubo (acero al carbono fundido) es de 248,1 MPa y el valor de límite elástico de la soldadura de arco eléctrico que se utilizó para unir estas dos piezas es de 392 MPa, por lo tanto con la tensión obtenida de 6,4 MPa, no hay posibilidad de fallas en esta pieza.

**Ilustración 51, Deformación en ejes de tubos para base y correderas.**



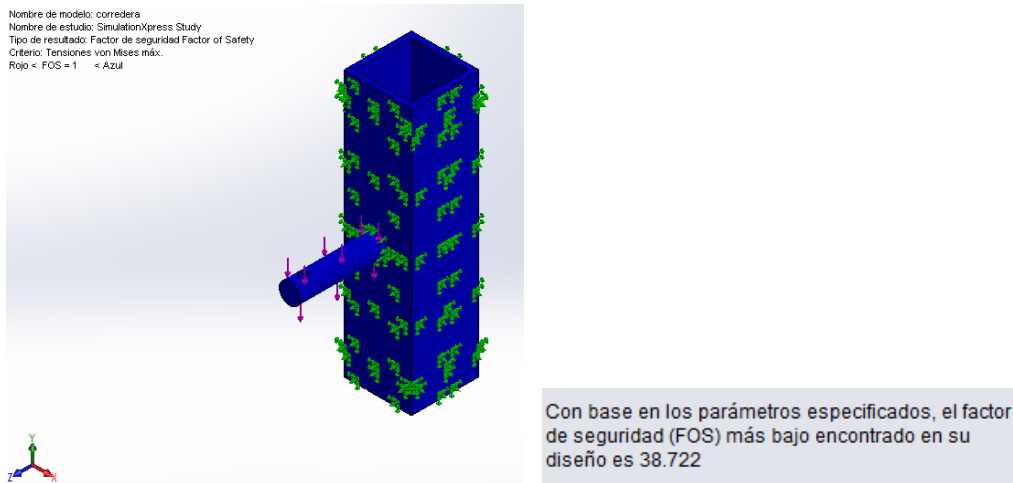
En la Figura 52 se observa el desplazamiento que se presenta en el eje al aplicarse la fuerza causada por el peso de la estructura. El valor es de 0,00233 mm, lo que demuestra que es tan pequeño que no es significativo ni ocasiona problemas para el mecanismo.

**Ilustración 52, Desplazamiento en ejes de tubos para base y correderas**



En cuanto al factor de seguridad del eje, el análisis CAD dice que el factor de seguridad esta sobre el valor de 38,7, lo confirma que la pieza probabilidades casi nulas de fallar ya que los valores ideales deben estar entre 2 y 7 (Fig. 53).

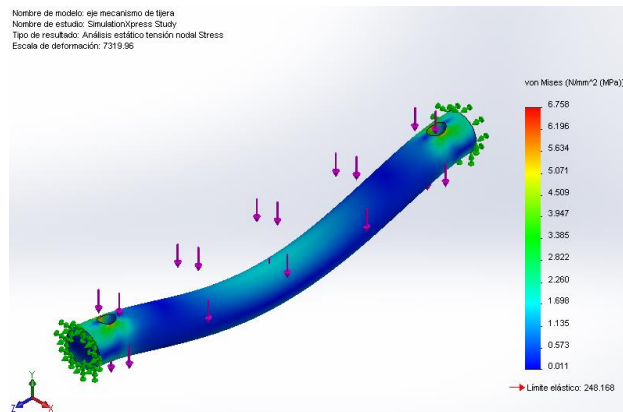
**Ilustración 53, Factor de seguridad de eje de tubos para base y correderas.**



### 5.5.2 Eje central de mecanismo de tijera

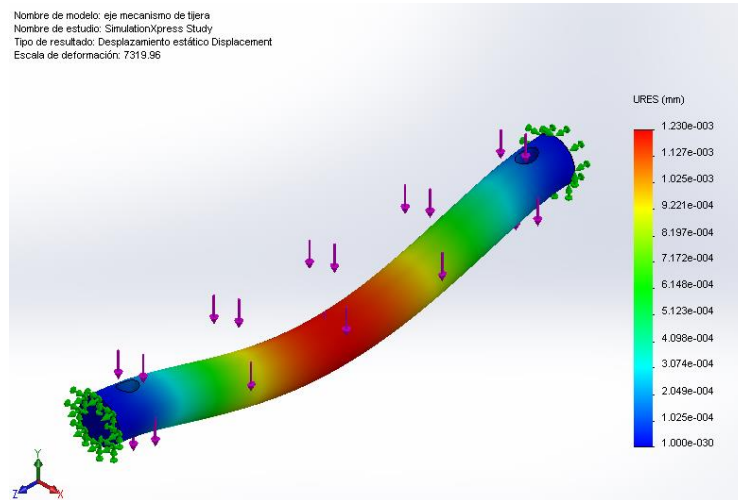
En la Figura 54, se muestra que el esfuerzo máximo que soporta la pieza es de 6,78 MPa. Este valor, comparado con el límite elástico del acero fundido al carbono (248 MPa) significa que no hay riesgo de rotura en la pieza ni tampoco una deformación permanente.

**Ilustración 54, Factor de seguridad de eje de tubos para base y correderas.**



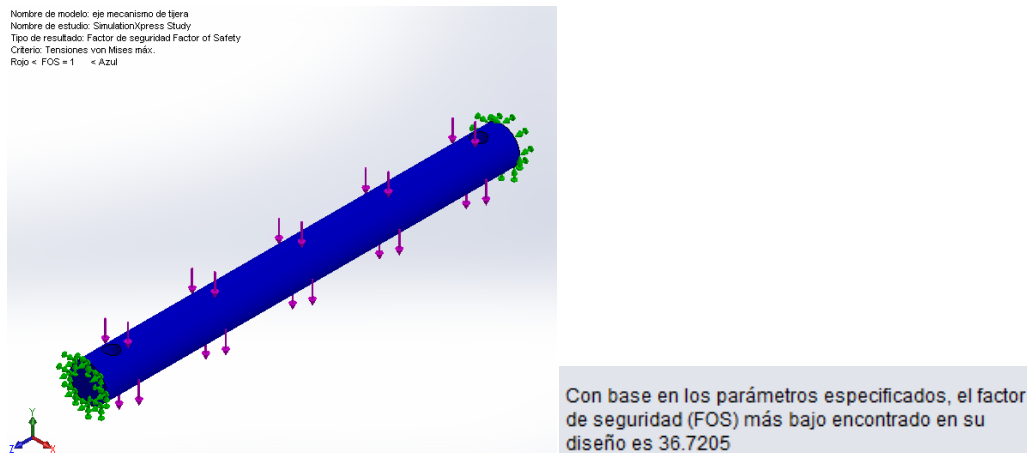
El desplazamiento por deformación que se presenta en esta pieza es de 0,00123 mm, es decir, el valor es despreciable e imperceptible (Fig. 55).

**Ilustración 55, Desplazamiento en eje central de mecanismo de tijera**



El factor de seguridad obtenido por el programa CAD para este eje es de 36, lo que cual verifica que la pieza no tendrá fallas durante su uso (Fig. 56).

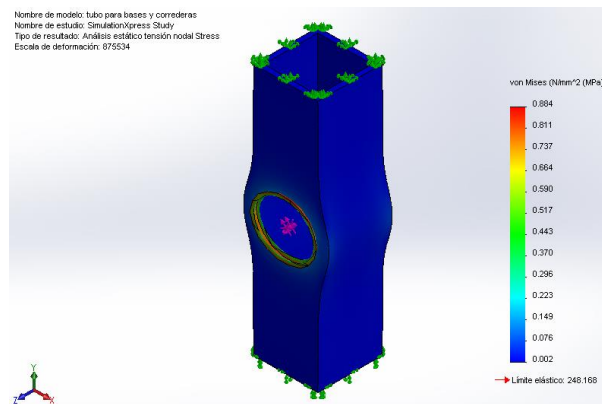
**Ilustración 56, Factor de seguridad del eje central del mecanismo de tijera**



### 5.5.3 Tubos de la base superior

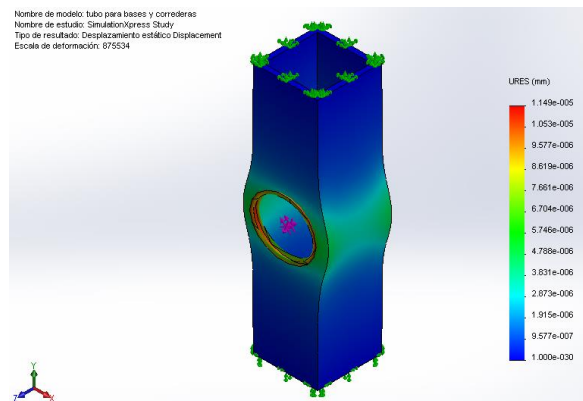
Para el análisis de esta pieza, la fuerza correspondiente al peso del recubrimiento (techo y laterales) se divide en ocho (el número de puntos que se apoya). La tensión obtenida de la fuerza sobre cada punto de apoyo es de 0.884 MPa, un valor muy inferior al del límite elástico del material del tubo (acero fundido al carbono) que es 248 MPa. Por ende, esta pieza no sufrirá alargamiento ni ensanchamiento durante su uso (Fig. 57).

**Ilustración 57, Deformación en tubo de la base superior**



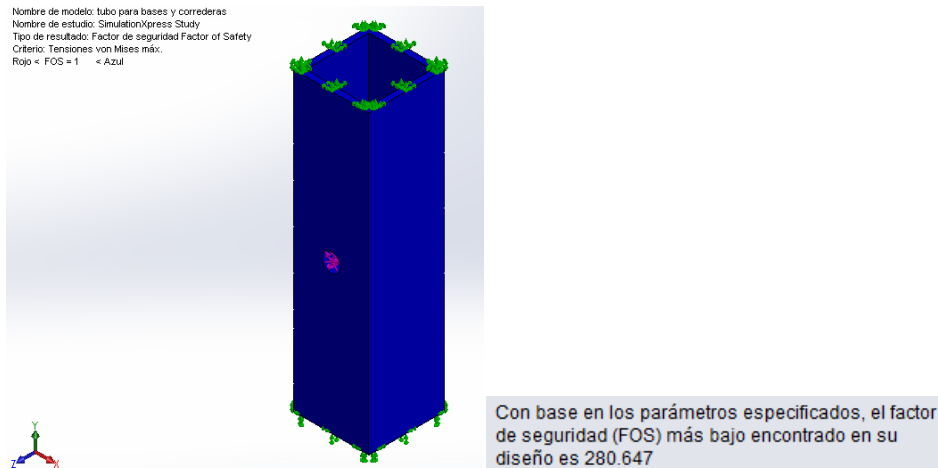
En la Figura 58, se muestra que el desplazamiento por deformación que sufre esta pieza es 0,00001149 mm. Un valor muy mínimo que demuestra que esta pieza no sufrirá deformaciones apreciables.

**Ilustración 58, Desplazamiento en tubo de la base superior**



En cuanto al factor de seguridad en esta pieza, el programa CAD muestra un valor mínimo de 280 que da la certeza que la pieza no tiene posibilidades de fallar (Fig. 59).

**Ilustración 59, Factor de seguridad de tubo en la base superior**



## 5.6 REVISIÓN DEL PROYECTO

A continuación, se presenta una tabla con los costos de adquisición y fabricación de los materiales y piezas de la estructura.

**Tabla 18, Costos de piezas y materiales**

Costos						
Tipo	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor parcial	Subtotal
Estructura	Lámina de acero CR. 22 cm x 25 cm. Espesor: 1/8"	Unidad	8	5.800,0	46.400,0	
	Lámina de acero CR. 30 cm x 30 cm. Espesor: 1/8"	Unidad	8	7.550,0	60.400,0	
	Tubo cuadrado de 1" de acero CR. Calibre 14. Tramo de 6m	Tramo	2	28.400,0	56.800,0	
	Tornillo cabeza hexagonal acero CR. 1/4" x 1 1/2"	Unidad	60	70,0	4.200,0	

Arandela de 1/4". Acero CR	Unidad	72	30,0	2.160,0
Tornillo cabeza hexagonal. Acero CR. 1/4" x 2 1/2"	Unidad	16	110,0	1.760,0
Retenedor. Acero CR. 3/32"	Unidad	76	65,0	4.940,0
Tuerca 1/4". Acero CR.	Unidad	88	30,0	2.640,0
Tubo cuadrado de aluminio de 3/4". Calibre 18. Tramo 6m	Unidad	16	23.000,0	368.000,0
Tornillo cabeza hexagonal. Acero CR. 1/4" x 1/2"	Unidad	128	34,5	4.416,0
Tuerca de seguridad 1/4". Acero CR.	Unidad	128	37,1	4.748,8
Rueda con freno. 1/2"	Unidad	16	5.000,0	80.000,0
Rueda sin freno. 1/2"	Unidad	16	3.000,0	48.000,0
Tubo de acero 5/16"	m	3	2.000,0	6.000,0
Arandela de 5/16". Acero CR.	Unidad	16	35,0	560,0
Tubo cuadrado de 3/4" de acero CR. Calibre 16. Tramo 6m	Unidad	1	12.000,0	12.000,0
Platina de 3/4" x 1/8". Acero CR.	m	2	3.000,0	6.000,0
Varilla roscado de 5/16". Acero CR.	m	1	3.500,0	3.500,0
Rosca mariposa. Acero CR. 5/16"	Unidad	12	450,0	5.400,0
Platina de 1 1/4" x 3/16". Acero CR. Tramo 6m	m	2	3.000,0	6.000,0
Lámina de madera de pino de 18cm x 150cm. Espesor: 1,8 cm	Unidad	2	25.000,0	50.000,0
Tornillo avellanado de 1/4" x 1 1/2". Acero CR.	Unidad	8	85,0	680,0
Pintura fondo base	Galón	0,13	48.000,0	6.000,0

	gris					
	Pintura laca negro mate	Galón	0,25	48.000,0	12.000,0	
Piso	Lona Caribe (marca Proquinal) Color: Negro. Peso: 480 gr/m2 Ancho: 1,4 m	Rollo (50m)	1	450.000,0	450.000,0	831.400,0
	Espuma de poliuretano. Calibre: 4 cm Densidad: 26 (rosada). Dimensiones de lámina: 1m x 2m	Lámina	17	18.000,0	306.000,0	
	Velcro 50 mm. Color: Negro	M	66	500,0	33.000,0	
	Iluminación LED en manguera	M	16	2.650,0	42.400,0	
Laterales y techo	Lona Pasarela. Marca Plastextil. PVC con filtro UV.	Rollo (50m)	1	485.000,0	485.000,0	517.000,0
	Ojales plásticos. Diámetro: 1 pulgada.	Unidad	64	500,0	32.000,0	
Mano de obra	Pintura (laca)	Servicio	1	120.000,0	120.000,0	1.805.580,0
	Pintura electrostática	metro lineal	91	2.000,0	181.580,0	
	Equipos para armado de estructura metálica, asesor, soldadura, armado	Servicio	1	310.000,0	310.000,0	
	Manufactura piso	Servicio	1	711.000,0	711.000,0	
	Manufactura laterales y techo	Servicio	1	483.000,0	483.000,0	
Costo total						3.946.585

En la tabla 19, se muestra el cronograma a tener en cuenta para la construcción y entrega por completo del producto.

**Tabla 19, Producción y plazos de entrega**

Producción								
Proceso	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Módulos de soporte y mecanismo de expansión	■	■	■	■				
Acoples de cámara			■	■				
Piso				■	■	■		
Laterales y techo					■	■	■	
Montaje								■


## 6. MONTAJE




La etapa de montaje se dividió en tres partes. En la primera, se muestran todos las operaciones que deben hacerse para que las piezas construidas se integren como un todo y adquieran la funcionalidad para la cual ha sido concebida toda la estructura. Luego, se muestran las alternativas en las cuales se puede configurar la estructura según el tipo de captura que se desee hacer o según el área que se disponga. Al final, se hacen pruebas para validar la funcionalidad del producto.

### 6.1. OPERACIONES DE MONTAJE



Se determinó el proceso de montaje, ajuste y verificación, así como se establecieron las respectivas herramientas y pasos a seguir para hacerlo.

*Tabla 20, Operaciones de montaje (en fabricación y para uso) y desmontaje.*

Montaje				
Paso		Herramientas	Operación	Tiempo
Paso	Imagen			
Colocación de ruedas en bases inferiores		Manual	Inserción de cuatro tornillos de 1/4" x 1" en cada rueda	1 hora
		Manual	Inserción de cada rueda en los orificios de cada base. Colocar tuercas de seguridad a cada tornillo	
		Destornillador	Ajuste de tuercas de seguridad para fijar ruedas a la base	
		Llave inglesa		

Ubicación de tubos soporte en las bases inferiores		Manual	Los tubos de aluminio de 197 cm de largo se ubican en las bases inferiores	1 hora
		Manual	Inserción de tornillos de 1/4" x 1 1/2" en el orificio que atraviesa los tubos de la base (interior y laterales) y los tubos de aluminio.	
		Manual	Inserción de tornillos de 1/4" x 2 1/2" en el orificio que atraviesa el tubo (exterior) de la base y los tubos de aluminio.	
		Destornillador Llave inglesa	Ajuste de tuercas de 1/4" para fijar tornillos.	
Ubicación de piezas de unión intermodular		Manual	Se inserta una pieza de unión intermodular prensa-corredera en los tubos de aluminio laterales de cada módulo. Repetir el procedimiento para cada módulo, intercalando piezas de unión intermodular prensa-corredera y corredera-corredera.	10 minutos
Ubicación de corredera translación-fijación de acoples para cámaras		Manual	Se inserta una pieza de corredera translación-fijación de acoples para cámaras en el tubo de aluminio interior de cada módulo.	10 minutos
Fijación de bases superiores		Manual	Se coloca la base superior sobre los tubos de soporte de cada módulo, insertándolos dentro de los tubos de la primera y ajustando la base hacia abajo.	1 hora
		Manual	Inserción de tornillos de 1/4" x 1 1/2" en el orificio que atraviesa los tubos de la base (interior y laterales) y los tubos de aluminio.	
		Manual	Inserción de tornillos de 1/4" x 2 1/2" en el orificio que atraviesa el tubo (exterior) de la base y los tubos de aluminio.	
		Destornillador Llave inglesa	Ajuste de tuercas de 1/4" para fijar tornillos.	

Ubicación de tubos para mecanismo de tijera		Manual	Inserción de tubo de aluminio de 185 cm y arandela de 5/16" en el eje de cada tubo de base	45 minutos
		Pinza	Unión de tubo, arandela y eje por medio de un retenedor de 3/32" insertado en la perforación ubicada en el extremo del eje que se encuentra soldado al tubo de base.	
Ubicación de ejes para mecanismo de tijera		Manual	Inserción de un eje de acero CR a través de los orificios del medio de cada par de tubos de aluminio que conforman los mecanismos de tijera. Colocación de arandelas de 5/16" en cada extremo.	45 minutos
		Pinza	Unión de tubos de aluminio, arandelas y eje por medio de retenedores de 3/32" insertado en las perforaciones ubicadas en cada extremo del eje. Asegurar retenedores con pinza.	
Tiempo total de montaje de fabricación				4h 50 min
Expansión de la estructura		Manual	Dos o tres personas se ubican en módulos opuestos y desplazan al tiempo las piezas de unión intermodular hacia arriba. Una vez desplegada la estructura, fijar las prensas de cada pieza en a posición deseada y activan el freno en las dos ruedas que tienen esta opción en cada módulo.	5 minutos
Armado de piso		Manual	Los módulos del piso se arman de afuera hacia adentro, fijándose por medio de cinta de velcro. Por el perfil del piso armado, se pasa la manguera LED.	5 minutos
Colocación de cabezales y cámaras		Manual	Ubicar cabezal en cada una de las correderas de traslación-fijación. Fijar con perilla. Ubicar cámaras de captura sobre ellos y fijarlos con tornillo inferior.	5 minutos por cabezal
Colocación de laterales		Manual	Cada panel lateral se sostiene de cada módulo mediante inserción del sus ojales en los tornillos superior e inferior de cada tubo posterior.	5 minutos

Colocación de techo		Manual	Al igual que los laterales, el techo se sostiene mediante la inserción de ojales en los tornillos superiores del tubo posterior de cada módulo. Seguido a esto, se enciende la manguera LED del piso y se conectan las cámaras al servidor (fuera de la zona de captura). La estructura queda lista para usar.	10 minutos
Tiempo total de montaje para uso				30 minutos
Desmontaje para guardado		Manual	Para guardar, se retiran los laterales, el techo y se pliega el piso. Se sueltan las prensas de las piezas intermodulares corredera-prensa. Los módulos se empujan levemente hacia el centro y la estructura se cierra lentamente por sí misma.	20 minutos
Tiempo total de desmontaje				20 minutos

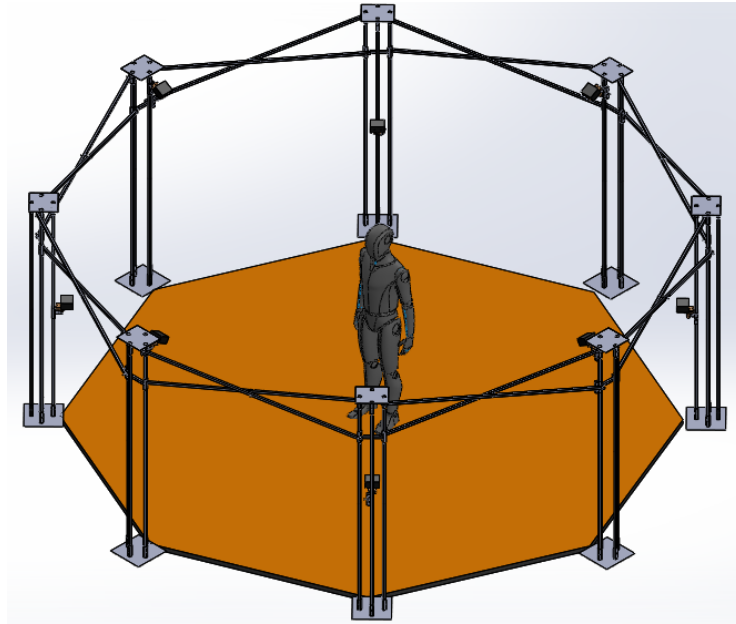
## 6.2 ALTERNATIVAS DE MONTAJE

Se determinaron dos alternativas de montaje que pueden ser armadas por el usuario de acuerdo a la toma que desee realizar o al espacio que tenga disponible para realizar la captura de movimiento.

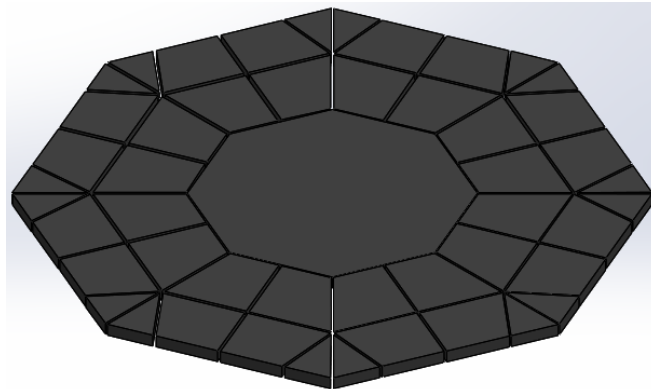
### 6.2.1 Alternativa para captura de movimiento de cuerpo entero

Para este tipo de captura, la estructura se expande a su amplitud máxima y las piezas de unión intermodular prensa-corredera se fijan a 20 centímetros de la base superior. Las cámaras se distribuyen de manera alternada, una en la parte superior de su respectivo tubo, la siguiente en la parte media de su tubo y así sucesivamente (Fig. 60). El piso se usa en su totalidad (diámetro de 4,70m) (Fig. 61)

*Ilustración 60, Configuración de estructura para captura de movimiento cuerpo entero.*



*Ilustración 61, Configuración de piso para captura de movimiento de cuerpo entero.*

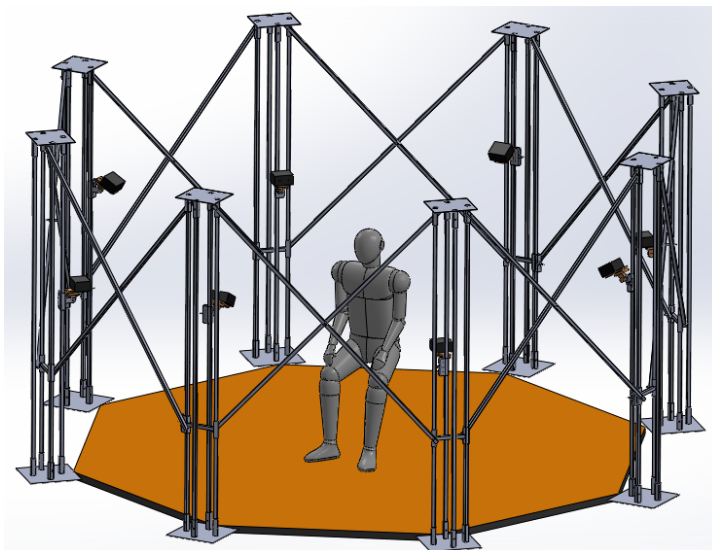


### **6.2.2 Alternativa para captura de movimiento facial**

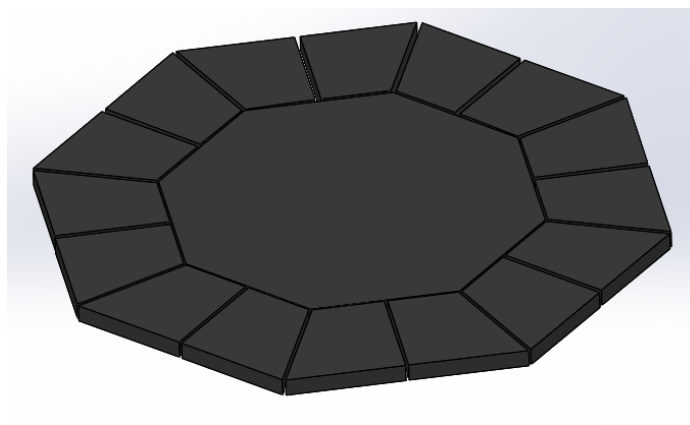
Para este tipo de captura, la estructura se reduce su amplitud y las piezas de unión intermodular prensa-corredora se fijan a 90 centímetros de la base superior. El sujeto a registrar se sienta en la mitad del área de captura y las cámaras se distribuyen de manera alternada, una ubicada más arriba del nivel de sus ojos dirigida hacia abajo, la siguiente en dirección frontal un

poco más abajo del nivel de los ojos y así sucesivamente con las demás (Fig. 62). Al piso se le retiran los módulos exteriores para quedar de un diámetro de 3,50 m (Fig. 63)

*Ilustración 62, Configuración de estructura para alternativa de captura de movimiento facial*



*Ilustración 63, Configuración de piso para alternativa de captura de movimiento facial*



### **6.3. PRUEBAS FINALES Y RESULTADOS**

Se realizaron dos pruebas de validación para comprobar que la estructura propuesta, proporciona las condiciones idóneas para una captura de movimiento efectiva. En la primera prueba se realiza nuevamente la medición de la vibración y

del flujo lumínico, pero esta vez con la estructura, para compararla con la realizada en la etapa de planeación y validar la mejoría. En la segunda, se realizó una sesión de captura tanto con estructura como sin ella, para analizar las características que cambian al tener ambientes distintos.

### 6.3.1 Prueba final de factores ambientales para captura de movimiento

**Objetivo:** Cuantificar las condiciones de luz y vibración con las que se realiza una captura de movimiento con la estructura propuesta, para compararla con las de la prueba inicial y validar la mejoría deseada.

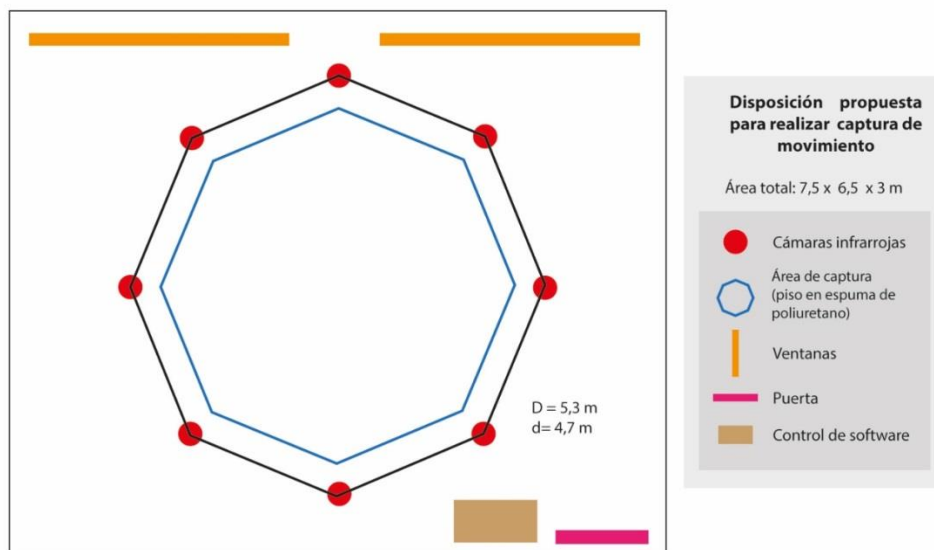
**Perfil de participantes:** Equipo de diseño desarrollador del proyecto.

**Número de participantes:** 2

**Lugar:** Escuela de Diseño Industrial UIS. Universidad Industrial de Santander. Edificio Mamitza Bayer. Salón 301

**Herramientas:** Esquema de la disposición del sistema de captura de movimiento con la estructura propuesta (Fig. 64). Sistema de captura de movimiento. Luxómetro. Vibrómetro. Estructura propuesta.

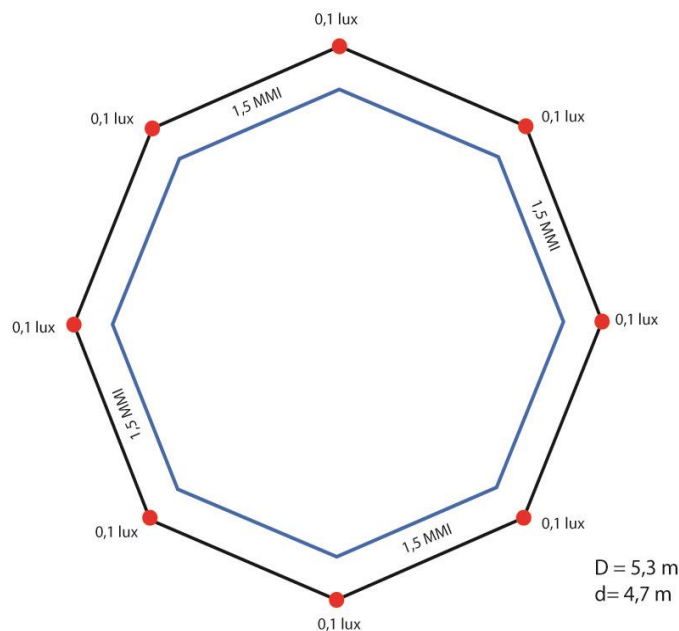
*Ilustración 64, Disposición del sistema de captura de movimiento con la estructura propuesta*



**Metodología:** Se dispone la estructura propuesta para que quedara lista para realizar una captura de movimiento (despliegue y recubrimiento). Utilizando un luxómetro, se mide la cantidad de luz que reciben los puntos del área en los cuales están ubicados cada una de las ocho cámaras. Con un vibrómetro digital, se procede a medir el nivel de vibración en cuatro puntos extremos del piso del recinto en el cual se encuentra dispuesto el sistema (parte exterior del área de captura) mientras una persona salta en el centro del área de captura. Los datos obtenidos se registraron en un esquema gráfico para su posterior comparación con los datos obtenidos en la prueba inicial de factores ambientales para captura de movimiento.

**Resultados:** A continuación, se presentan en un gráfico los datos obtenidos de las cantidades de luz presentes en los puntos de ubicación de las cámaras infrarrojas y la vibración en cuatro puntos exteriores a la zona de captura.

*Ilustración 65, Datos obtenidos de luz y vibración en la nueva disposición de la zona de captura.*



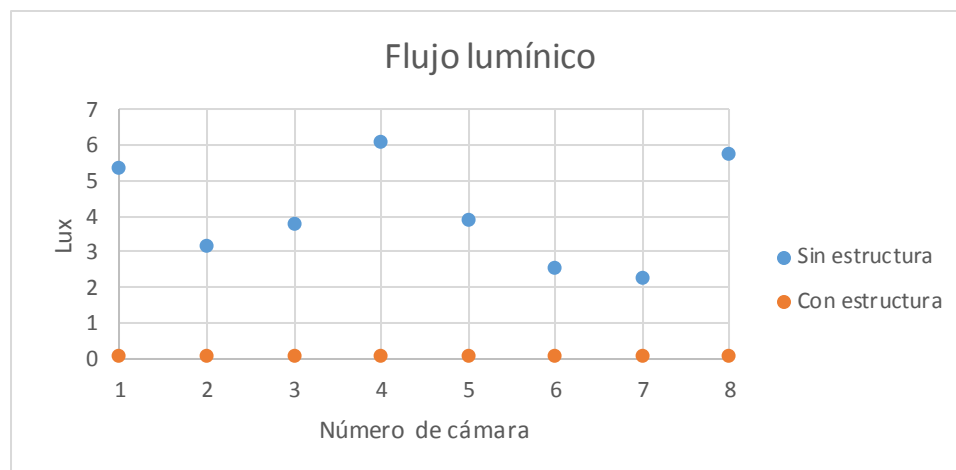
*En la Figura 65 se aprecia la homogeneidad de flujo lumínico presente en la disposición nueva del área de captura*

**Análisis de los datos:** El nivel de iluminación en cada cámara presenta valores homogéneos respecto a los demás. Cabe resaltar que las medidas de luz se hicieron con iluminación externa, lo cual también comprueba la efectividad del recubrimiento del sistema. En todos los puntos, los valores de iluminancia fueron de 0,1 lux.

En cuanto a la vibración, el vibrómetro marco 1,5 MMI como máximo valor de intensidad, que según la Escala de Mercalli Modificada (MM) (USGS, 2014) son muy débiles, es decir, vibraciones imperceptibles para la mayoría de personas excepto en algunas ocasiones.

### 6.3.2 Análisis condiciones de luz y vibración: prueba inicial vs. Prueba final

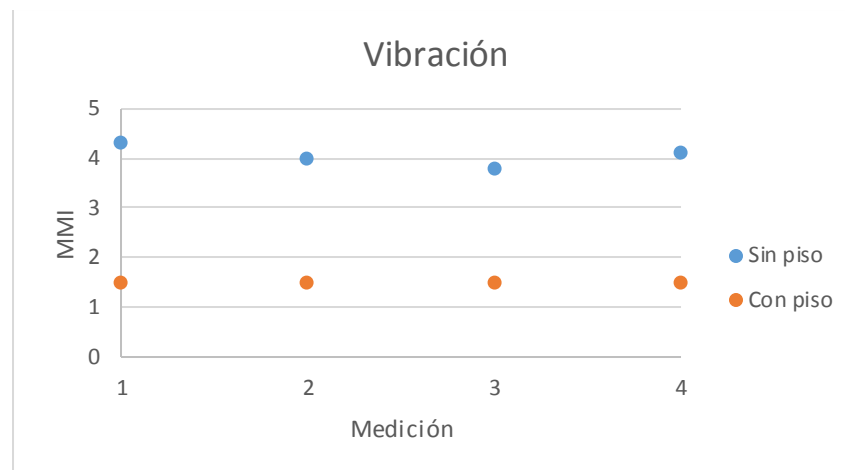
*Ilustración 66, Gráfica de dispersión: medición del flujo lumínico en la misma ubicación de cada cámara*



En la Figura 66, se observa que el flujo lumínico medido en la ubicación de cada cámara fue menor y homogéneo cuando se utilizó la estructura. Por lo tanto, el recubrimiento del área de captura evita la entrada de luz de manera efectiva y

permite que todas las cámaras infrarrojas realicen su labor bajo las mismas condiciones de captura.

**Ilustración 67, Gráfica de dispersión: medición de la vibración en cuatro puntos extremos fuera del área de captura de movimiento**



En la Figura 67, se observa la medición de vibración en cuatro puntos externos al área de marcada para el piso. En la prueba inicial de condiciones ambientales, el área de captura de movimiento estaba determinada por un tapete afelpado de máximo 5mm de espesor. En las mediciones de la prueba final, el área de captura estaba delimitada por un piso de espuma de poliuretano de 40mm de espesor. Los resultados permiten concluir que la vibración fue mucho menor al utilizar dicho piso, por ende, el piso cumple su cometido de absorber las vibraciones generadas por el movimiento que se está capturando con el sistema y así se elimina la posibilidad de desconfiguración en el sistema.

### 6.3.3 Pruebas de captura de movimiento

**Objetivo:** Comparar las variaciones existentes entre una captura de movimiento realizada con y sin la estructura propuesta.

**Perfil de participantes:** Equipo de diseño desarrollador del proyecto. Director del proyecto.

**Número de participantes:** 3

**Lugar:** Escuela de Diseño Industrial UIS. Universidad Industrial de Santander. Edificio Mamitza Bayer. Salón 301

**Herramientas:** Sistema de captura de movimiento. Software Brekel Probody. Estructura propuesta.

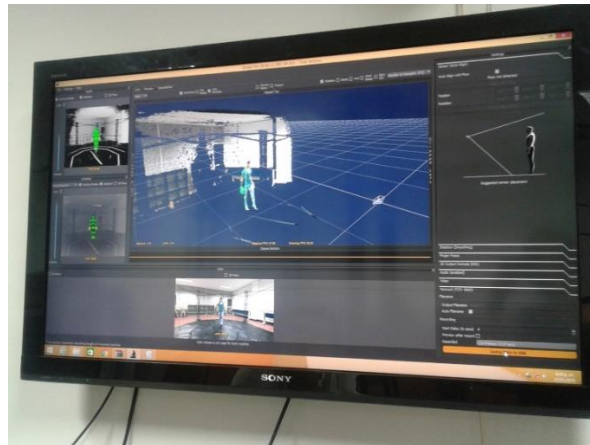
**Metodología:** Se prepara la estructura (sin recubrimiento), las cámaras y el sistema para realizar la captura en un salón con iluminación externa. Luego, se revisa que las cámaras estén cubriendo el volumen necesario para la captura deseada (Fig. 68). Se determinan tres tipos de capturas a realizar: una de marcha (de un extremo a otro del área de captura), una de saltos en el centro del área y una estática. De cada tipo de captura, se registran varias tomas de 4 segundos. La estructura se recubre y se realizan nuevamente varias tomas por cada tipo de captura. Al final, se escogen los datos generados por el software de las captura estáticas con y sin recubrimiento para determinar cómo se realiza la captura en las dos situaciones y se analizan los resultados.

*Ilustración 68, Preparación de volumen de captura*



**Resultados y análisis:** Al prepararse la zona de captura sin recubrimiento, se pudo notar que las cámaras pueden capturar una mayor profundidad de campo, esto hace que sean menos precisas y que se registren objetos externos al escenario con el que se desea trabajar (Fig. 69)

*Ilustración 69, Registro realizado por cámara infrarroja en área de captura sin recubrimiento.*



A continuación, se presentan imágenes de capturas estáticas y en movimiento realizadas con y sin recubrimiento. A partir de ellas, se puede inferir que el recubrimiento permite realizar tomas más limpias y enfocadas en el usuario, sin que haya interferencias externas que puedan afectar la calidad en la toma y tener un menor flujo de datos para el momento de realizar edición.

*Ilustración 70, Imágenes de capturas de movimiento: a) estática sin recubrimiento, b) estática sin recubrimiento, c) saltos sin recubrimiento y d) saltos con recubrimiento.*



*a) Estática sin recubrimiento*



*b) Estática con recubrimiento*



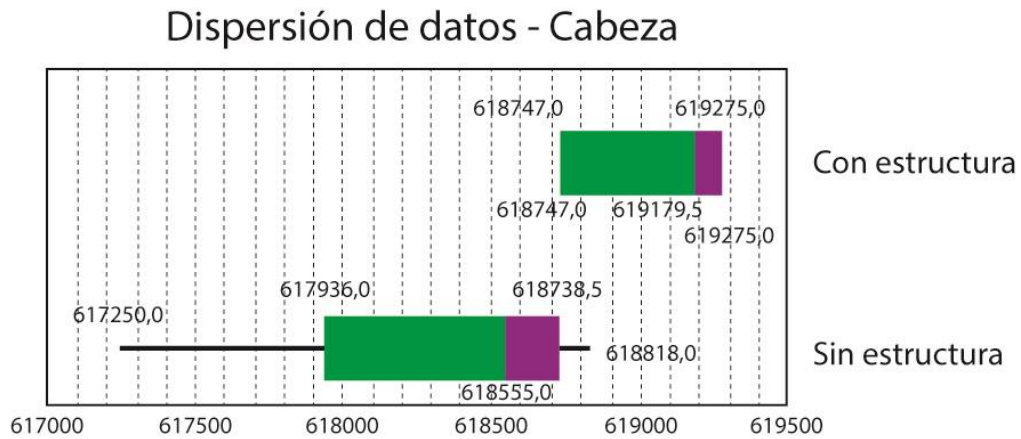
c) *Salto sin recubrimiento*



d) *Salto con recubrimiento*

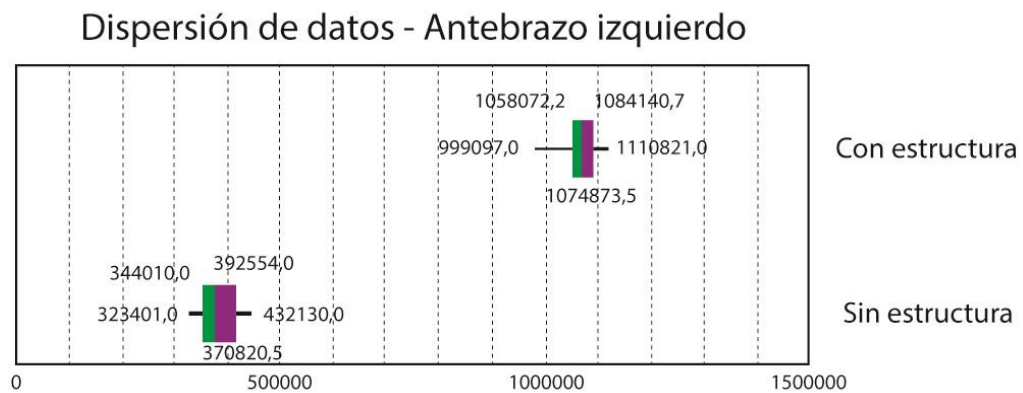
Los datos de las variaciones de posición en cada punto del cuerpo, son valores absolutos de segmentos corporales registrados por el software respecto al origen (cámara). Se escogieron los valores estáticos con y sin estructura de las partes de las siguientes partes del cuerpo: cabeza, antebrazo izquierdo, antebrazo derecho, muslo izquierdo y muslo derecho. Para cada una de estas partes, se miró la dispersión de los datos registrados por el sistema durante cuatro segundos en tomas y se analizaron según el factor recubrimiento-sin recubrimiento del área. Para presentar el análisis, se utilizaron 'diagramas de caja' (Estadística para todos, 2008) para mostrar la concentración de datos respecto a la mediana del total registrado.

**Ilustración 71, Dispersión de datos cabeza – con y sin estructura**



En la captura realizada sin estructura, la mayor concentración de datos tomados a la sección de la cabeza, está entre los valores de 617936,0 y 618555,0 y también se registraron valores mínimos y máximos de 617250,0 y 618818, muy alejados de las mayores concentraciones de datos. Con la estructura, los valores máximos y mínimos se encuentran dentro del rango de mayor concentración.

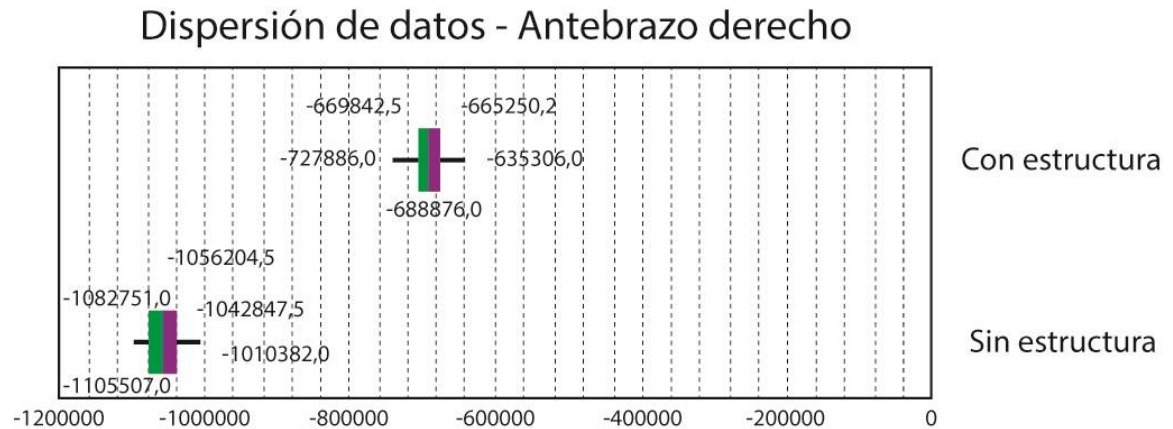
**Ilustración 72, Dispersión de datos antebrazo izquierdo – con y sin estructura**



En captura realizada sin la estructura, los datos registraron valores entre 323401,0 y 432130,0, la mayor concentración de datos está entre 344010,0 y 392554,0 siendo 370820,5 la media. En la captura realizada con estructura, aunque presento valores mínimos y máximos de 999097,0 y 1110821,0 respectivamente,

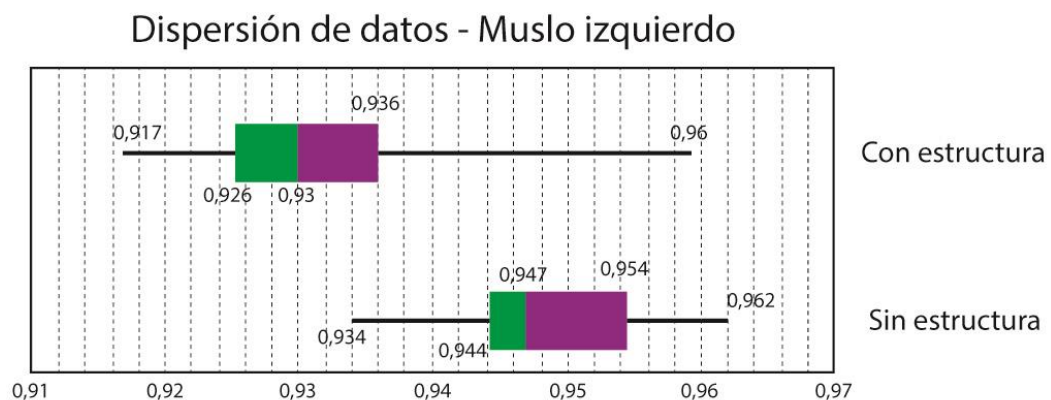
la mayor concentración de datos estuvo entre valores de 1058072,2 y 1084140,7, que es un rango mucho menor al que se presentó en la captura sin estructura.

**Ilustración 73, Dispersión de datos antebrazo derecho – con y sin estructura**



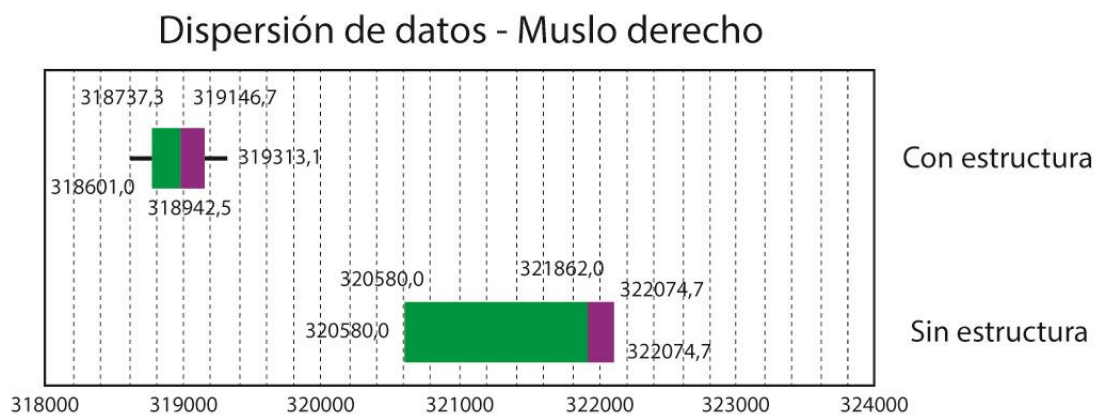
En la captura realizada sin estructura, los datos registraron valores entre -1105507,0 y -1010382,0, la mayor concentración de datos está entre -1082751,0 y -1042847,5 siendo -1056204,5 la media. En la captura realizada con estructura, aunque presento valores mínimos y máximos de -727886,0 y -635306,0 respectivamente, la mayor concentración de datos estuvo entre valores de -669842,5 y -665250,2, que es un rango mucho menor al que se presentó en la captura sin estructura.

**Ilustración 74, Dispersión de datos muslo izquierdo – con y sin estructura**



En la captura realizada sin estructura, los datos registraron valores máximos y mínimos entre 0,962 y 0,934, la mayor concentración de datos está entre 0,944 y 0,954 siendo 0,947 la media. En la captura realizada con estructura, aunque presento valores mínimos y máximos de 0,917 y 0,96 respectivamente, la mayor concentración de datos estuvo entre valores de está entre 0,926 y 0,936 que es un rango mucho menor al que se presentó en la captura sin estructura.

**Ilustración 75, Dispersión de datos muslo derecho – con y sin estructura**



En la captura realizada sin estructura, los datos registraron valores mínimos y máximos entre 320580 y 322074,7, la mayor concentración de datos está entre esos mismos valores siendo 321862 la media. En la captura realizada con estructura, aunque presento valores mínimos y máximos de 318601 y 319313,1 respectivamente, la mayor concentración de datos estuvo entre valores de está entre 318737,3 y 319146,7 que es un rango mucho menor al que se presentó en la captura sin estructura.

En la literatura consultada, se resalta que la luz en el área de captura debe ser controlada y homogénea para que los datos de cada captura tengan la menor dispersión entre ellos. En las gráficas anteriores, se observa que la dispersión de datos es menor cuando se utiliza la estructura.

## 7. CONCLUSIONES

- Después de realizar la revisión de literatura acerca de las condiciones ideales de captura y de las condiciones ambientales que afectan la estabilidad de los datos en los sistemas de captura de movimiento ópticos basados en cámaras infrarrojas, se identificó que la luz infrarroja y la vibración en la área de captura, influyen de manera directa en la calidad de captura de movimiento.
- Según la literatura encontrada, la iluminación en el área de captura debe ser homogénea para que no se generen sombras ni reflejos durante la captura y la vibración que produce el sujeto en movimiento no debe afectar la estabilidad de las cámaras.
- Se identificaron condiciones del espacio de trabajo para mejorar una sesión de captura de movimiento. Para un sistema de 8 cámaras, el espacio recomendado estándar para una captura de cuerpo entero es un área de 4,70 metros de diámetro en la que todas las cámaras estén ubicadas de manera equidistante y estas se puedan desplazar de manera vertical para poderse configurar de acuerdo al volumen del cuerpo que se desea registrar. Para una captura facial, el área puede reducirse hasta un diámetro de 3,50 metros y las cámaras deben colocarse de manera alternada a alturas sobre el nivel de los ojos y más debajo de este, para no capturar sombras. Estos hallazgos fueron fundamentales en el diseño de la estructura propuesta.
- A diferencia de los recintos existentes que son acondicionados para captura de movimiento, la estructura propuesta y sus componentes (piso, laterales, techo) tiene la posibilidad poderse configurar según el espacio que el usuario tenga disponible o según el tipo de captura que se quiera realizar, sea de cuerpo entero o facial.

- La estructura puede contraerse en sí misma, lo cual facilita su transporte y almacenamiento.
- Cuando el fondo del área de captura de movimiento se delimita, la precisión en la realización de captura de movimiento aumenta debido a que la cámara no tiene que hacer un barrido de gran profundidad y por ende, el flujo de datos de profundidad es menor.
- Se propuso que la estructura fuera expandible, transportable y modular, debido a que cada tipo de captura tiene requerimientos de dimensiones diferentes, se elimina la limitación de disponer de un recinto fijo para realizar las capturas y la modularidad facilita el montaje, mantenimiento y adecuación de la misma.
- Que la estructura de soporte estuviera configurada en una sola pieza, proporciona al usuario facilidad de transporte, montaje y guardado, así como más seguridad al fijar las cámaras en el lugar deseado y pocas probabilidades de desconfiguración del sistema.
- Se aplicaron dos metodologías: la de Ulrich-Eppinger para las fases de planeación y desarrollo de concepto y la DFMA para el proceso de manufactura y ensamblaje, porque la primera no profundiza en etapas avanzadas de un proceso de diseño.
- Mediante pruebas de medición de condiciones ambientales y pruebas de captura (de movimiento y estáticas), se compararon las condiciones existentes para captura con las conseguidas con la estructura propuesta, con el fin de validar la mejora de las condiciones de captura. Con el recubrimiento lateral y superior de la estructura propuesta, se consiguió que el flujo lumínico fuera homogéneo y de 0,1 lux (reducción de hasta 98% con iluminación externa),

cantidad necesaria para que el usuario se desplace por el área de captura y que no se generen reflejos ni sombras que puedan afectar la captura. La utilización de un piso que absorba las vibraciones provocadas por el movimiento del usuario sobre el área de captura, hizo que los niveles de vibración se homogenizaran y se redujeran en un 62%, evitando la desconfiguración del sistema.

- Al realizar las pruebas de captura estáticas, se evidenció que los datos registrados por las cámaras eran más estables cuando se utilizaba la estructura que cuando no se hacía uso de ella.
- El proceso de realización de este proyecto da como resultado una herramienta que puede ser utilizada en proyectos de investigación, cinematografía, animación 3D, análisis de movimiento para biomédica y deportes... entre otros.

## BIBLIOGRAFÍA

BOOTHROYD, Geoffrey; DEWHURST, Peter; KNIGHT, Winston. "Product Design for Manufacture and Assembly, 2<sup>nd</sup> Edition", Marcel Dekker, New York. 2002.

Cevug, Laboratorio producción digital y MOCAP (planta baja). 2012. Recuperado de: <http://innovacampus.ugr.es/webcevug/index.php/infraestructura/infra/laboratorio-de-movimiento>

COPPER, Alan. *The Inmates Are Running the Asylum: Why High-Tech Products Drive Us Crazy and How to Restore the Sanity*. SAMS. 1999

Estadística para todos. Diagrama de caja y bigotes. 2008. Recuperado de: <http://www.estadisticaparatodos.es/taller/graficas/cajas.html>

FERNÁNDEZ, Jesús; LÓPEZ, Víctor; SANCHEZ, Rubén; ANTUÑA, Rosa. *DFMA Diseño para la fabricación y ensamblaje*: Fundación Prodintec. 2010.

GRADY, Robert y CASWELL, Deborah. *Software Metrics: Establishing a Company-wide Program*. Prentice Hall. 1987

GUEVARA, Eduardo (2004). *Fundamentos de configuración en diseño industrial*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander. Segunda edición ed., 2004 pág. 165.

INGENIATIC. Cámara termográfica. 2013. Disponible en: <http://ingeniatic.euitt.upm.es/index.php/tecnologías/item/397-cámara-termográfica>. [Consulta: Lunes, 9 de febrero de 2015]

JENSENIUS, Alexander; NYMOEN, Kristian; SKOGSTAD, Ståle; VOLDSUND, Arve. *A Study of the Noise-Level in Two Infrared Marker-Based Motion Capture Systems* Copenhagen. 2012.

KERLOW, Isaac. The art of 3D computer animation and effects. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2009. Pág. 370

KITAGAWA, Midori y WINDSOR, Brian. MoCap for Artists - Workflow and Techniques for Motion Capture. Elsevier Inc. 2008.

LIKERT, Rensis. *A technique for the measurement of attitudes*. Columbia University, New York. 1932.

MÉRIDA, Sara. Rotoscopia y captura de movimiento. Una aproximación general a través de sus técnicas y procesos en la postproducción. España: Universidad Politécnica de Valencia. 2013. Pág. 45

NaturalPoint. Camera Stand 10ft. 2014. Recuperado de: <https://www.naturalpoint.com/optitrack/products/mounts-tripods/> [Consulta: Martes, 12 de mayo de 2015]

NaturalPoint. Camera Stand 10ft. 2014. Recuperado de: <https://www.naturalpoint.com/optitrack/products/mounts-tripods/> [Consulta: Martes, 12 de mayo de 2015]

PADILLA, Andrés. *Introducción al uso del sistema IMPULSE de Phasespace* D. d. I. d. S. y. C. Grupo de Investigación IMAGINE (Ed.). 2010. (pp. 28).

PhaseSpaceInc. PhaseSpace Impulse: Camera System. User's Manual. 2010.

Ptiphoenix. Flat Wall-Mount Set. 2012. Recuperado de: <http://www.ptiphoenix.com/?prod-mounts-post=flat-wall-mount-set> [Consulta: Martes, 12 de mayo de 2015]

Qualisys. (2013). Aluminum rails. Recuperado de: <http://www.qualisys.com/products/accessories/mounting-equipment/> [Consulta: Martes, 12 de mayo de 2015]

Qualisys. Vitek VTHTM8. 2013. Recuperado de: <http://www.qualisys.com/products/accessories/mounting-equipment/> [Consulta: Martes, 12 de mayo de 2015]

RINCÓN, P. y ZAMBRANO, E. "Motion Capture" en Curso de Computación Gráfica II. Venezuela: Universidad Simón Bolívar. 2012.

RNASA. Capturas de movimiento: principales tecnologías. Equipo de investigación integrado en el grupo de excelencia de Redes de Neuronas Artificiales y Sistemas Adaptativos. Universidade da Coruña. Recuperado de: <http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicionales/trabajos/Peliculas/Mocap/tecnol.htm> [Consulta: Viernes, 8 de mayo de 2015]

SANTINI, Nicolás. How to make your own motion capture studio. [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <http://www.creativebloq.com/3d/how-make-your-own-motion-capture-studio-71515919> [Consulta: Viernes, 13 de Noviembre de 2015]

TOBÓN, Ricardo. The Mocap Book: A Practical Guide to the Art of Motion Capture, Orlando, FL. 2010.

ULRICH, Karl y Eppinger, S. Diseño y desarrollo de productos (Cuarta ed.). México: McGraw-Hill/Interamericana. 2009

USGS. The Modified Mercalli Intensity Scale. 2014. Recuperado de: <http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mercalli.php>

Vicon. The essentials of motion capture: capture space considerations. 2014. Recuperado de: [http://www.udel.edu/PT/Research/MAL/essentials\\_of\\_motion\\_capture\\_v1\\_2.pdf](http://www.udel.edu/PT/Research/MAL/essentials_of_motion_capture_v1_2.pdf) [Consulta: Viernes, 13 de Noviembre de 2015]

Xsens. Motion Capture. 2012 Disponible en: <http://www.xsens.com/tags/motion-capture/> [Consulta: Miércoles, 10 de febrero de 2015]

ZIMMER, Birch. Proper light in a mocap area. 2011. [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <https://forums.naturalpoint.com/viewtopic.php?f=51&t=>

9054&p=46001&hilit=light+ir+fluorescent#p4595. [Consulta: Miércoles, 10 de febrero de 2015]