



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE BOGOTÁ

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**Vicedecanatura Académica**  
**POSGRADOS**

## **PRESENTACIÓN PROPUESTA**

TESIS DE MAESTRÍA:  TRABAJO FINAL DE ESPECIALIZACIÓN:

1. PROPONENTE: Alexander Pinzón Fernández CÓDIGO: 02 299802
2. PROGRAMA: Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación
3. DIRECTOR PROPUESTO: Eduardo Romero Castro

DEPARTAMENTO: Ingeniería de Sistemas e Industrial.

4. TÍTULO: Extracción y seguimiento del esqueleto de un cuerpo a partir de múltiples vistas.

ÁREA: Ciencias de la Computación

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Computación grafica, procesamiento de imágenes, procesamiento de video.

NOTA: La metodología de este proyecto está orientada por los resultados y organizada en paquetes de trabajo, tal y como se hace de manera estándar en todos los proyectos de la Unión Europea (Condición impuesta por mi director de tesis).

## 5. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN:

La medición realizada por un observador de la posición con respecto al tiempo de una partícula en un sistema de referencia. Es denominada registro de movimiento.

El estudio y registro del movimiento de un cuerpo con extremidades articuladas, como una persona o un animal, ha sido de interés en varias áreas del conocimiento. Por ejemplo, la anatomía humana y animal, la ingeniería y las artes. El registro de movimiento ha sido usado para resolver distintos tipos de problemas, por ejemplo: en el diagnóstico de patologías asociadas a la marcha en seres humanos, la captura del movimiento de un actor para dar vida a un personaje animado, o el análisis ergonómico para el diseño de productos y herramientas (1).

La extracción y seguimiento de esqueletos se logra mediante la utilización de un conjunto de actividades organizadas dentro de un proceso. Estas actividades son: la adquisición de datos desde un objeto real, la reconstrucción 3D a partir de los datos de la captura, la extracción del esqueleto del objeto tridimensional reconstruido, y el seguimiento del esqueleto tomado como un proceso iterativo de captura con un esqueleto invariante topológicamente en el tiempo.

Los esqueletos son estructuras 1D que representan una simplificada versión de la geometría y topología de un objeto 3D. Son en esencia una entidad geométrica que abstrae el volumen del objeto. Por esta razón muchos métodos de extracción del esqueleto requieren una representación discreta del volumen del modelo de entrada. Sin embargo la mayoría de modelos usados en aplicaciones de computación grafica son disponibles únicamente como una representación de su superficie, tales como las mallas de polígonos (2).

### 5.1. Adquisición de datos

Existen diferentes enfoques en la adquisición de la información espacial de objetos reales, algunos basados en el procesamiento de imágenes, otros basados en sensores (mecánicos, electromagnéticos, e inerciales entre otros), y otros como el escáner de laser, la tomografía, el ultrasonido, etc (3).

Los métodos de adquisición basados en el procesamiento de señales utilizan las secuencias de imágenes producidas por una o varias cámaras. Cuando se utilizan varias cámaras se explota la coherencia espacial dada por la visión estereoscópica, mediante el uso de puntos característicos como marcadores (luminosos, reflectivos, o detectados mediante filtros), y las siluetas de los objetos obtenidos mediante la segmentación de las imágenes (4). Cuando se utiliza una única imagen se hace uso de modelos a priori y además se añaden

restricciones en las búsquedas de soluciones, estos modelos pueden basarse en aproximaciones probabilísticas o aprendizaje de máquina.

### 5.1.2. Segmentación de imágenes

La segmentación de imágenes son un conjunto de métodos para dividir una imagen en regiones, dadas ciertas características. La segmentación puede ser automática es decir sin interacción del usuario, o semiautomáticas que requieren la supervisión manual (5). A continuación mostraremos algunos de los métodos de segmentación más usados:

- Métodos de segmentación de contorno activos (6).
- Método Snake con uso de filtros de gradiente de dirección (7).
- Métodos que utilizan la coherencia espacio temporal de formas limitantes especialmente cajas y elipses (8).
- Métodos probabilísticos con redes bayesianas para modelar la interacción de campos (9).

### 5.1.3. Captura mediante sensores

Este tipo de técnicas ofrecen gran precisión y libertad para la captura del movimiento, pues no presentan problemas de oclusión presentes en los métodos de procesamiento de imágenes (10).

Algunas desventajas son:

- No proporcionan información de la forma y superficie del objeto.
- Es necesario el uso de trajes especiales que restringen la captura de la textura del cuerpo. Además algunos mecanismos no son inalámbricos lo que restringe la movilidad.
- Son equipos costosos.
- Los sistemas requieren estar próximos a los objetos, no permitiendo grandes translaciones en el espacio (11).

#### 5.1.4 Escáner tridimensional de laser

Ofrecen la mayor calidad y precisión en la captura de la forma y detalles de la superficie del objeto, siendo de los métodos más utilizados en industrias como la del cine, la paleontología, la arqueología, entre otros (12). La mayor desventaja de esto método son los altísimos costos de estos dispositivos.

#### 5.2. Reconstrucción tridimensional

La reconstrucción tridimensional, son un conjunto de técnicas mediante las cuales objetos reales, son representados mediante estructuras de datos o funciones, haciendo énfasis en características como volumen y forma. Existe actualmente una gran cantidad de técnicas de reconstrucción y métodos de mallado 3D (13), dado un conjunto de puntos 3D no conectados.

#### 5.2.1 Reconstrucción basada en imágenes

La reconstrucción basada en imágenes, tiene dos enfoques importantes uno con el uso de marcas, y otro sin ellas, además hay que tomar en cuenta los parámetros intrínsecos (distancia focal, distorsión, etc.) y extrínsecos (posición, orientación, etc.) de la cámara (14).

En la reconstrucción con el uso de marcas se hace un filtrado de la imagen para localizar estos marcadores los cuales son en general puntos de algún color poco presente en la escena como el blanco, un rojo o verde intenso, también se usan marcadores que emiten luz como pequeños bombillos, o el uso de imágenes en blanco y negro que tienen un patrón dado reconocible. Con estos puntos segmentados y localizados en las imágenes se procede a realizar la solución de las ecuaciones de las transformaciones lineales correspondientes basadas en un sistema estéreo con un modelo de cámara pinhole (15).

### 5.3 Extracción del esqueleto

La extracción del esqueleto es un problema que actualmente es tratado desde distintos enfoques, algunos realizan estimaciones del esqueleto en 2D, y luego utilizan información a priori para estimar como fue transformado el esqueleto tridimensional real (16), otros enfoques realizan una reducción iterativa del número de polígonos con ciertas restricciones de contracción y minimización de energía, hasta encontrar un esqueleto irreducible (2). Otros métodos utilizan distintas representaciones topológicas de un objeto tridimensional mediante grafos, luego realizan una simplificación de este grafo, y por ultimo utilizan un esqueleto modelo el cual transforman para minimizar el error entre el esqueleto y el grafo dado por medio de alguna métrica basada en heurísticas (12).

## 6. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:

El seguimiento de movimiento se realiza convencionalmente con costosos sistemas de captura que varían entre los 150 y 400 millones de pesos para el año 2009. Este seguimiento del movimiento presenta estos inconvenientes.

- Usan marcadores en forma de trajes y dispositivos pegados al cuerpo y sus extremidades, que alteran la naturalidad de los movimientos. Además, se necesita de expertos para posicionar los marcadores, pues los marcadores deben estar localizados en puntos antropométricos específicos.
- Los sistemas estereoscópicos que realizan una reconstrucción tridimensional desde múltiples puntos de vista manejan grandes volúmenes de datos correspondientes a la geometría del cuerpo, con lo cual se requiere maquinas de alto rendimiento.



## 7. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

### **Objetivo General:**

Desarrollar un método para el seguimiento del movimiento del cuerpo humano en 3 dimensiones.

### **Objetivos Específicos:**

1. Implementar un sistema de captura mediante video cámaras de un cuerpo en movimiento para su análisis.
2. Adaptar e implementar el método  $\Sigma$ - $\Delta$  Sigma-Delta para extraer la silueta del cuerpo desde los videos.
3. Proponer un método para extraer marcadores de las relaciones fundamentales del cuerpo usando los videos, con lo cual se constituye un esqueleto que representa el cuerpo.
4. Proponer un método para realizar el seguimiento del esqueleto en cada cuadro de video y validar los resultados obtenidos del análisis.
5. Desarrollar un sistema que permita visualizar el movimiento del cuerpo, junto con el esqueleto estimado.

## 8. METODOLOGÍA Y ACTIVIDADES POR OBJETIVOS:

### Objetivo 1.

**Implementar un sistema de captura mediante video cámaras de un cuerpo en movimiento para su análisis:**

Se requiere solucionar dos aspectos importantes la sincronización en la captura del video, y la calibración de las cámaras.

Para la calibración se estudiarán métodos de calibración de  $n$  cámaras, se elegirá el que mejor aproximación tenga a los parámetros de una configuración de cámaras ya calibradas, y luego se implementará ese sistema de calibración.

Para la sincronización de la captura, se estudiarán cuáles características físicas de las cámaras pueden ayudar en la realización de esta tarea, conociendo esas funciones se hará uso de ellas para realizar la captura de video.

#### Actividades:

- Ubicar las cámaras en un arreglo circular, alrededor del centro de la escena.
- Calibrar las cámaras.
- Capturar de forma sincronizada los videos de un cuerpo articulado en movimiento.

#### Entregable:

Sistema de calibración de cámaras.

Sistema de captura de cámaras sincronizadas.

Archivos de video digitalizados de cada una de las cámaras usadas.

Objetivo 2:

**Adaptar e implementar el método  $\Sigma$ - $\Delta$  Sigma-Delta para extraer la silueta del cuerpo desde los videos:**

Estudiar el método  $\Sigma$ - $\Delta$  Sigma-Delta, para determinar la forma de adaptarlo e implementarlo para la segmentación de un cuerpo en movimiento, para cada una de los videos .

Actividades

- Adaptar e implementar el método de segmentación.
- Segmentar la silueta del cuerpo desde los videos.

Entregable:

Sistema de segmentación de la silueta de un cuerpo en movimiento desde un video.

Archivos de datos con la silueta segmentada para cada uno de los videos.

Objetivo 3.

**Proponer un método para extraer marcadores de las relaciones fundamentales del cuerpo usando los videos, con lo cual se constituye un esqueleto que representa el cuerpo:**

Analizando los videos y las siluetas del cuerpo en movimiento, se estimara información tridimensional del cuerpo que se está observando, por medio del estudio e implementación de modelos de atención visual para extraer singularidades, bordes y puntos de cambio en la imagen, que sirven para realizar una reconstrucción 3D desde un par estereoscópico. Además se

estudiara e implementara un métodos para la reconstrucción del volumen del cuerpo desde las siluetas, estos métodos son descritos en la literatura como *visual-hull*.

Con los puntos característicos reconstruidos en 3D y el volumen, se desarrollara e implementara un método para extraer el esqueleto haciendo uso de modelos matemáticos, para la extracción del medial axis. Para validar el esqueleto extraído se compara con otros métodos de extracción equivalentes y se compararan los resultados, evaluando características como lo centrado del esqueleto respecto al eje medio, y que sea homotópico es decir topológicamente equivalente al cuerpo.

#### Actividades:

- Selección de una técnica para la detección de puntos característicos.
- Implementar la técnica de detección.
- Seleccionar una técnica de reconstrucción estereoscópica.
- Implementar la técnica de reconstrucción estereoscópica.
- Seleccionar una técnica de reconstrucción de volumen.
- Implementar la técnica de reconstrucción de volumen.
- Desarrollar un método para la extracción del esqueleto.
- Implementar el método de extracción del esqueleto.
- Comparar los resultados con otros métodos.

#### Entregable:

Modulo de sistema de reconstrucción 3D de puntos característicos, desde múltiples imágenes.

Modulo de sistema de reconstrucción del volumen de un cuerpo desde las siluetas de múltiples imágenes.

Sistema de extracción del esqueleto, desde puntos característicos 3D y el volumen de un cuerpo.

Comparación de los resultados de este método de extracción del esqueleto con otros métodos equivalentes.

Archivos de datos con información geométrica tridimensional del esqueleto extraído.

#### Objetivo 4

**Proponer un método para realizar el seguimiento del esqueleto en cada cuadro de video y validar los resultados obtenidos del análisis:**

Una vez el esqueleto ha sido extraído se propondrá e implementara una estrategia para realizar el seguimiento del esqueleto haciendo uso de métodos de seguimiento para determinar el cambio de pose del esqueleto a través del tiempo. Para validar el método se evaluarán los resultados con otros métodos de seguimiento del esqueleto, utilizando las mismas secuencias de video.

Actividades:

- Desarrollar la técnica de seguimiento.
- Implementar la técnica de seguimiento.
- Seleccionar otros métodos de extracción y seguimiento del esqueleto que usen secuencias de video desde varias cámaras.
- Obtener los resultados de los otros métodos.

- Comparar los resultados entre el método desarrollado y los otros métodos evaluados.

Entregable:

Archivo con información del cambio de pose del esqueleto extraído en cada secuencia de video.

Tabla con datos de resultados del método desarrollado, y los otros métodos evaluados.

Objetivo 5.

**Desarrollar un sistema que permita visualizar el movimiento del cuerpo, junto con el esqueleto estimado:**

El desarrollo de este sistema se realizara usando la metodología iterativa creciente. En este sistema se requiere renderizar en pantalla el esqueleto del cuerpo sobrepuesto junto con el video, esto se debe realizar para cada uno de los videos.

Actividades

- Etapa de inicialización del proyecto con la implementación del sistema de calibración y captura.
- Etapa de iteración con esta lista de control
  - Visualización de los videos capturados.
  - Renderización del esqueleto de acuerdo a los parámetros de calibración para cada una de las cámaras utilizadas.
  - Mezcla del video y el esqueleto renderizado, para cada una de las vistas.

- Documentar el sistema.

Entregable:

Programa de computadora que permita visualizar el video junto con el seguimiento del esqueleto.

9. CRONOGRAMA: Vea la Figura 1.

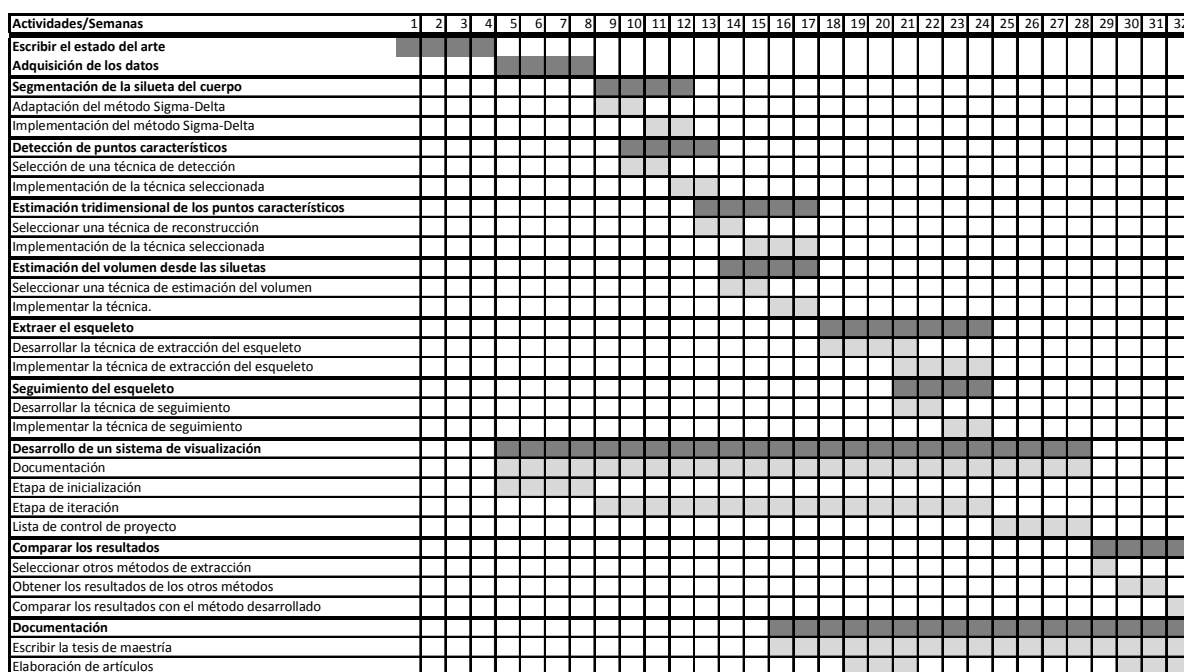


Figura 1: Cronograma para el desarrollo de las actividades

## 10. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

1. *3-D Reconstruction of Static Human Body Shape from Image Sequence*. **Remondino, Fabio**. 2004, Computer Vision and Image Understanding, Vol. 93, págs. 65-85.
2. *Skeleton Extraction by Mesh Contraction*. **Au, Oscar Kin-Chung, y otros**. 2008, ACM Transactions on Graphics, Vol. 27, pág. 10.

3. *Visual hull alignment and refinement across time: a 3D reconstruction algorithm combining shape-from-silhouette with stereo.* **Cheung, G.K.M., Baker, S. y Kanade, T.** 2003. Vol. 2, págs. II-375-82 vol.2.
4. *3D reconstruction by combining shape from silhouette with stereo.* **Lin, Huei-Yung y Wu, Jing-Ren.** 2008. págs. 1-4.
5. *Image-based shape model for view-invariant human motion recognition.* **Jin, Ning y Mokhtarian, F.** 2007. págs. 336-341.
6. *Human video textures.* **Flagg, Matthew, y otros.** s.l. : ACM, 2009. págs. 199-206.
7. *Skeleton Extraction of 3D Objects with Radial Basis Functions.* **Ma, Wan-Chun, Wu, Fu-Che y Ouhyoung, Ming.** s.l. : IEEE Computer Society, 2003. pág. 207.
8. *Shape from inconsistent silhouette for free viewpoint video.* **Landabaso, J.-L., Lizcano, L. y Pardas, M.** 2008. págs. 213-216.
9. *Methods for Volumetric Reconstruction of Visual Scenes.* **Slabaugh, Gregory G., y otros.** 2004, International Journal of Computer Vision, Vol. 57, págs. 179-199.
10. *Interaction capture and synthesis.* **Kry, Paul G. y Pai, Dinesh K.** s.l. : ACM Press, 2006, ACM Trans. Graph., Vol. 25, págs. 872-880.
11. *Multi-stereo 3D object reconstruction.* **Esteban, C. Hernandez y Schmitt, F.** 2002. págs. 159-166.
12. *Performance capture from sparse multi-view video.* **Aguiar, Edilson de, y otros.** s.l. : ACM, 2008. págs. 1-10.
13. *Reconstructing Human Shape and Motion from Multi-View Video.* **Aguiar, Edilson de, y otros.** s.l. : The IEE, 2005. págs. 42-49.
14. *Regression-based Hand Pose Estimation from Multiple Cameras.* **de, Teofilo E. y Murray, David W.** s.l. : IEEE Computer Society, 2006, Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Computer Society Conference on, Vol. 1, págs. 782-789.
15. *3D-modeling by ortho-image generation from image sequences.* **Thorm\{"a}hlen, Thorsten y Seidel, Hans-Peter.** s.l. : ACM, 2008. págs. 1-5.
16. **Remondino, Fabio y Reditakis, Andreas.** 3D Reconstruction of Human Skeleton from Single Images or Monocular Video Sequences. *3D Reconstruction of Human Skeleton from Single Images or Monocular Video Sequences.* 2003. págs. 100-107.



## RECURSOS FÍSICOS:

Recurso	Dependencia
Computador estación de trabajo	Estudiante
Conexión a internet	Universidad Nacional
Video Cámaras	Centro de Telemedicina
Software de procesamiento	Software Libre
Herramientas de desarrollo de software	Software Libre
Textos y artículos electrónicos	Universidad Nacional
Papelería y fotocopias	Estudiante

Figura 2. Recursos Físicos.

Este proyecto se desarrollara con los recursos expuestos en la Figura 2., en las instalaciones del Centro de Telemedicina de la Universidad Nacional de Colombia.

## 11. COSTOS DEL TRABAJO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN:

Ver el cuadro en la Figura 3.

Ítem	Cantidad	Valor		Total
		Universidad Nacional	Estudiante	
Computador	1		\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
Conexión a internet (horas)	1600	\$ 2.000		\$ 3.200.000
Video Cámaras	6	\$ 200.000		\$ 1.200.000
Materiales e insumos	1		\$ 3.000.000	\$ 3.000.000
Textos y artículos electrónicos (suscripción)	3	\$ 200.000		\$ 600.000
Honorarios Director (4 horas / semana)	32	\$ 320.000		\$ 10.240.000
Honorarios Estudiante (20 horas / semana)	32	\$ 400.000		\$ 12.800.000
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 32.540.000</b>

Figura 3. Costos del trabajo y fuentes de financiación

## 12. COMENTARIO CON VISTO BUENO DEL DIRECTOR:

### **Organización:**

La estructura y organización del documento es adecuada de acuerdo con la metodología de paquetes de trabajo, en la cual un paquete de trabajo es constituido por un objetivo una metodología para lograrlo, un conjunto de actividades y un producto entregable.

### **Pertinencia:**

El grupo de investigación Bioingenium ha venido trabajando en el desarrollo de un laboratorio de marcha funcional, cuenta con la experiencia formada a través de varios trabajos de maestría desarrollados alrededor de esta área. Tales como el "*Modelo de Seguimiento para Análisis Biomecánico de la Marcha en un Sistema de Realidad Aumentada*" por parte del estudiante de la Maestría en Ingeniería Biomédica Fabio Martínez Carrillo y la "*Captura de la marcha en un ambiente con iluminación semicontrolada sin uso de marcadores*" por parte de la estudiante de la Maestría en Ingeniería Biomédica Lorenza Henao Murillo. Dados los anteriores elementos es pertinente continuar investigando métodos para mejorar los sistemas de seguimiento de movimiento.

**Relevancia:**

El sistema de seguimiento de movimiento que se desea desarrollar, contribuirá en el mejoramiento de laboratorios de marcha, tales como el laboratorio del hospital universitario, ayudando en el diagnóstico de patologías asociadas con la marcha, para mejorar la salud y calidad de vida de la población colombiana.

**Originalidad:**

Con el desarrollo de este método de seguimiento del movimiento se desea evitar el uso de marcadores, que es la forma habitual como los actuales sistemas de captura lo realizan.

**13. FIRMA DEL PROPONENTE**

---

Alexander Pinzón Fernández

**14. FIRMA DEL DIRECTOR (ASESORES)**

---

Eduardo Romero Castro

**15. FECHA**

08 de junio del año 2009