

**SISTEMA DE SEGUIMIENTO DEL CAMBIO DE LA POSTURA DE UNA PERSONA  
QUE REALIZA UNA ACTIVIDAD EN UN LUGAR CERRADO.**

**MARCELA BURAGLIA OSORIO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO**

**DIRECTOR**

**Ing. ALEJANDRO FORERO GUZMÁN, M.Sc.**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA**

**BOGOTÁ D.C, 2010**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

RECTOR MAGNÍFICO: PADRE JOAQUÍN EMILIO SÁNCHEZ GARCÍA S.J

DECANO ACADÉMICO: Ing. FRANCISCO JAVIER REBOLLEDO MUÑOZ

DECANO DEL MEDIO UNIVERSITARIO: PADRE SERGIO BERNAL RESTREPO S.J

DIRECTOR DE CARRERA: Ing. JUAN MANUEL CRUZ BOHÓRQUEZ

DIRECTOR DE PROYECTO: Ing. ALEJANDRO FORERO GUZMÁN, M.Sc.

## **ARTÍCULO 23 DE LA RESOLUCIÓN No. 13 DE JUNIO DE 1946**

“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado.

Solo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por que los trabajos no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vea en ellos el anhelo de buscar la verdad y la justicia.”

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO .....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
LISTA DE ANEXOS .....	X
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. MARCO TEÓRICO .....	3
2.1. Procedimiento para el análisis del movimiento.....	3
2.2. Segmentación .....	4
2.2.1. Detección de bordes .....	4
2.2.2. Umbralización.....	6
2.2.3. Método morfológico de escala de grises.....	7
2.2.4. Segmentación basada en el color .....	7
2.3. Reconocimiento de objetos .....	8
2.4. Clasificación de los píxeles .....	8
2.4.1. Mezcla del Modelo Gaussiano para distribución de color.....	9
2.4.2. Entrenamiento de los parámetros gaussianos .....	9
2.5. Clasificación de las poses.....	9
3. ESPECIFICACIONES.....	10
3.1. Condiciones ambientales, de equipo y software y de atuendo de la persona bajo estudio .....	11
3.1.1. Condiciones ambientales .....	11
3.1.2. Condiciones de equipo y software .....	13
3.1.3. Condiciones de la persona bajo estudio .....	14
3.2. Sistema de detección de cambios de postura .....	14
4. DESARROLLO .....	15
4.1. Elección de los marcadores .....	16
4.1.1. Marcadores fosforescentes de 2 dimensiones .....	16
4.1.2. Marcadores reflectivos de 3 dimensiones .....	17
4.1.3. Marcadores fosforescentes de 3 dimensiones .....	17

4.2.	Colocación de la cámara .....	17
4.3.	Colocación de los marcadores.....	18
4.4.	Control de la iluminación.....	18
4.5.	Desarrollo del algoritmo.....	18
4.5.1.	Filtración de los marcadores .....	19
4.5.2.	Identificación de marcadores individuales y en grupo .....	22
4.5.3.	Identificación de los ángulos entre partes y/o referencia.....	24
4.5.4.	Entrega de la información.....	27
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	29
6.	CONCLUSIONES .....	34
6.1.	Conclusiones de la metodología.....	34
6.2.	Conclusiones de resultados .....	34
6.3.	Desarrollo de un algoritmo de extracción de información ergonómica, usando visión por computador .....	34
6.4.	Parámetros ergonómicos que se pueden extraer usando visión por computador .....	35
6.5.	Propuesta de una posición de la cámara en relación con la escena que sea adecuada para cada parámetro propuesto.....	35
6.6.	Otras conclusiones.....	36
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	37
8.	ANEXOS .....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de desarrollo para el análisis del movimiento en dos dimensiones.[4] .....	3
Figura 2. Cuerpo humano modelado usando planos rectangulares [5] .....	4
Figura 3. Tipos de bordes [5] .....	5
Figura 4. Video original y detección de bordes con filtro Canny .....	6
Figura 5. Ejemplo de umbralización .....	6
Figura 6. Método de erosión. (a) Imagen original, (b) imagen erosionada.[8] .....	7
Figura 7. Método de dilatación. (a) Imagen Original, (b) imagen dilatada.[8] .....	7
Figura 8. Imágenes de los cubículos .....	12
Figura 9. Fondo controlado. ....	12
Figura 10. Marcadores. (a) Amarillo; (b) verde; (c) naranja; (d) rosado; (e) sandía; (f) blanco. ....	13
Figura 11. Cámara web Genius VideoCAM Web.....	13
Figura 12. Logos de los programas utilizados.....	14
Figura 13. Condiciones ideales de ropa de la persona bajo estudio. ....	14
Figura 14. Diagrama de bloques del Sistema de detección del cambio de la postura de una persona que realiza una actividad en un lugar cerrado. ....	14
Figura 15. Marcadores de 2D; (a) Circulares, (b) Cuadrados. ....	16
Figura 16. Marcadores reflectivos; (a) esféricos de 2cm de diámetro, (b) esféricos de 3cm de diámetro. .	17
Figura 17. Diferenciación de marcadores fosforescentes y reflectivos. ....	17
Figura 18. Plano de posición de la cámara [4] .....	18
Figura 19. Vector referencia del sistema (flecha roja) .....	19
Figura 20. Colección de <i>frames</i> .....	19
Figura 21. Diagrama de flujo del algoritmo. ....	20
Figura 22. (a) Región de interés. (b) Líneas de unión entre partes. (c) Candidatos a marcador. (d) Candidatos a marcador luego de binarización. (e) Unión de información de marcadores. (f) Plano H.	

(g) Plano S. (h) Plano V. (i) Información de marcadores en el plano H. (j) Información de marcadores en el plano S. (k) Información de marcadores en el plano V. ....	21
Figura 23. Ejemplo de modificación del umbral inicial. ....	22
Figura 24. Umbralización inicial de la imagen. ....	22
Figura 25. Definición de los valores asociados a los marcadores dentro de los componentes (a) H, (b) S, (c) V. ....	23
Figura 26. (a) Barras de gestión de umbrales. (b) Ventana de observación de líneas en las diferentes partes del cuerpo. (c) Candidatos a marcador. (d) Candidatos umbralizados. (e) Plano H. (f) Plano S. (g) Plano V. ....	24
Figura 27. Rangos de posición para el tronco. ....	25
Figura 28. Rangos de posición para el brazo. ....	25
Figura 29. Rangos de ángulos entre brazo y antebrazo. ....	25
Figura 30. Rangos de ángulos entre la referencia y el muslo. ....	26
Figura 31. Rangos de ángulos entre el muslo y la pierna. ....	26
Figura 32. (a) Líneas de unión entre partes. (b) Unión de información de marcadores. (c) Información de marcadores en el plano H. (d) Candidatos a marcador luego de binarización. (e) Información de marcadores en el plano V. (f) Plano S. (g) Plano H. (h) Plano V. (i) Candidatos a marcador. (j) Información de marcadores en el plano S. ....	27
Figura 33. Gráficas finales entregadas al usuario. Promedio de los ángulos de las diferentes líneas ubicadas en el tiempo (segundos). ....	28
Figura 34. Marcadores. (a) Amarillo; (b) verde; (c) naranja; (d) rosado; (e) sandía; (f) blanco. ....	30
Figura 35. Plano de posición de la cámara [4] ....	30
Figura 36. Resultados de umbrales plano H. ....	32
Figura 37. Resultados de umbrales plano S. ....	32
Figura 38. Resultados de umbrales plano V. ....	32
Figura 39. Gráficas resultantes de la variación de los ángulos a lo largo del tiempo de grabación (en segundos). ....	33
Figura 40. Resultados toma 1. ....	39

Figura 41. Resultados toma 2.....	39
Figura 42. Resultados toma 3.....	39
Figura 43. Resultados toma 4.....	40
Figura 44. Resultados toma 5.....	40
Figura 45. Resultados toma 6.....	40
Figura 46. Resultados toma 7.....	41
Figura 47. Resultados toma 8.....	41
Figura 48. Resultados toma 9.....	41
Figura 49. Resultados toma 10.....	42
Figura 50. Resultados toma 11.....	42
Figura 51. Resultados toma 12.....	42

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. VALORES EN LOS QUE OSCILAN LOS UMBRALES DE LOS COLORES DE LOS MARCADORES DENTRO DE LOS PLANOS HSV.....	31
TABLA 2. TABLA DE COSTOS DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA .....	33
TABLA 3. RESUMEN DE LOS NIVELES DE RIESGO PARA LOS DIFERENTES RANGOS DE ÁNGULOS DEL CUERPO SEGÚN EL MÉTODO ERGONÓMICO REBA. ....	35

**LISTA DE ANEXOS**

ANEXO 1. GRÁFICAS DE RESULTADOS DE LAS 12 TOMAS FINALES .....39

# 1. INTRODUCCIÓN

La detección, reconocimiento, seguimiento, registro e interpretación de los movimientos de los seres humanos al realizar ciertas actividades es relevante en áreas como la ergonomía, vigilancia, entretenimiento, interfaces de usuarios, juegos y deportes por las implicaciones prácticas y operativas que se pueden desprender de ello. [1].

El presente trabajo de grado propone obtener información útil para el área de ergonomía. La ergonomía es una ciencia que se dedica a diseñar espacios y elementos que permitan optimizar el desarrollo de una o varias actividades realizadas por uno o más seres humanos. Para poder crear estos diseños es necesario conocer diversos aspectos físicos y mentales que tiene una persona al momento de realizar un trabajo. Dentro de los aspectos físicos se encuentra la parte de observación, donde se realizan tomas de datos sobre los movimientos, tiempos de movimiento, alcances y rutas de actividad que normalmente se utilizan para realizar cierta actividad. En los estudios actuales se realizan registros a partir de videos, fotografías o por observación directa.

Otros aspectos físicos importantes se obtienen a través de electrocardiogramas, electrogoniometría (medición de los ángulos de movilidad en las articulaciones), electromiografía, inclinometría y dinamometría [2]. Estos estudios pueden llegar a tomar demasiado tiempo o ser invasivos, lo que hace que la persona bajo estudio no se sienta cómoda o simule que está cómoda, por lo que en estos casos el estudio pierde confiabilidad en algunos aspectos.

En procesos actuales de estudios ergonómicos como son la observación directa y la toma de videos es necesario que el investigador realice un seguimiento al sujeto en tiempo real, por lo que es necesaria una alta inversión de tiempo, lo que también implica un costo alto en el proceso de definición de movimientos, posiciones y tiempos.

Debido a los significantes avances en tecnologías de video, se tienen las siguientes ventajas a comparación de otros métodos de observación y análisis:

- Bajo costo: generalmente los sistemas de análisis son considerablemente más baratos que el método de observación directa.
- Interferencia mínima con la persona bajo estudio: porque no son invasivas, no distraen al sujeto y afectan menos el desarrollo natural de la actividad, a diferencia que si se colocaran electrodos en la persona o que se encontrara alguien más observándola. La idea de estos estudios es reconocer los movimientos, alcances, tiempos, posturas, y demás factores que intervienen en el desarrollo de una actividad.
- Flexibilidad: el análisis de video se puede utilizar en ambientes donde otros sistemas no pueden llegar, por ejemplo, al aire libre, bajo el agua o en una competencia.
- Permite retroalimentar visualmente a la persona bajo análisis. Las videocámaras graban permanentemente los movimientos y pueden ser vistos inmediatamente, a diferencia de los métodos de observación directa, donde no se almacena de ninguna forma la información

Este trabajo consiste en plantear un nuevo método de observación que permita mejorar las formas actuales en que se realiza la observación del sujeto a partir del procesamiento automático de imágenes obtenidas a partir de tomas de video con una cámara web sobre una persona con marcadores que no intervienen en su actividad, para así obtener variables de estudio de movimientos, posturas y tiempos que tiene una persona al trabajar en posición sedente<sup>1</sup> en un cubículo de los laboratorios del Departamento de Electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana - Bogotá.

---

<sup>1</sup> Posición sentada, miembros inferiores formando un ángulo más o menos recto, la columna vertebral recta y la cabeza mirando al frente.

La utilidad y relevancia de este aporte radica en que se pueden observar los tiempos y movimientos de diferentes zonas del cuerpo de personas que trabajan en oficinas y laboratorios, que suelen resultar afectadas, como el cuello, la espalda y las muñecas, por no adoptar una adecuada postura de los brazos y manos mientras se trabaja, al igual que la espalda. Estos son daños dolorosos y pueden ser irreversibles, por lo que se espera proveer a ergónomos información necesaria para estudios de ergonomía, y así mejorar las condiciones de trabajo en los cubículos, oficinas y talleres.

Como objetivo principal está el desarrollo de un algoritmo de extracción de información ergonómica, usando visión por computador. Para lograrlo, es necesario definir qué parámetros ergonómicos se pueden extraer usando visión por computador; realizar pruebas con diferentes marcadores para encontrar cuál se acomoda mejor a los requisitos del sistema; proponer una posición de la cámara en relación con la escena, que sea adecuada para cada parámetro propuesto. Adicionalmente se propone desarrollar un algoritmo usando visión por computador para la extracción de información de al menos 5 elementos dentro del proceso de observación en la ergonomía y realizar un estudio de prueba para evaluar la herramienta desarrollada.

Este documento está dividido como se nombra a continuación. En el Capítulo 2 se presenta el marco teórico global en el cual estuvo basado el desarrollo del proyecto. En el Capítulo 3 se describen las especificaciones del sistema desarrollado. En el Capítulo 4 se muestra la información de los algoritmos que conforman el sistema. El análisis de los resultados obtenidos es descrito en el Capítulo 5. Finalmente, se presentan algunas conclusiones sobre el trabajo realizado junto con la bibliografía consultada durante el desarrollo del mismo y anexo se encuentra el código del algoritmo diseñado para el sistema.

## 2. MARCO TEÓRICO

En los últimos 30 años se han realizado grandes avances en el procesamiento de imágenes enfocado en el área de captura de los movimientos de los seres humanos. En los artículos de [3] se realiza un paralelo de la información recopilada en 480 publicaciones. Los sistemas utilizados para capturar movimientos humanos consisten en subsistemas de detección y procesamiento. Existen dos tipos de detección, la activa que es invasiva y requiere colocar marcadores en el sujeto bajo estudio, y la pasiva que se dedica a identificar los movimientos sin que el sujeto se vea afectado, y pueda comportarse como normalmente lo hace ante un entorno natural.

Las aplicaciones de los métodos basados en visión se pueden agrupar generalmente en tres:

Vigilancia: cubre problemas relacionados con monitoreo automático e identificación de la posición de alguien ante el movimiento de una gran cantidad de gente.

Control: cuando los parámetros de movimientos o poses se estiman para controlar algo. Importante para aplicaciones de realidad virtual.

Análisis: tales como diagnósticos automáticos de pacientes ortopédicos o análisis y optimización del rendimiento de atletas.

Debido a los avances en algoritmos de segmentación del cuerpo humano se ha podido lograr grandes mejoras en las áreas de trabajo con imágenes. La estimación de poses basada en modelos, donde se introducen modelos de movimientos aprendidos y métodos estocásticos de muestreo, han logrado resultados más precisos y rápidos.

Los artículos nombrados en [3] identifican las siguientes modalidades de evaluación:

- Inicialización: Asegura que el sistema comienza su operación con una interpretación correcta de la escena actual.
- Seguimiento: Segmentación y seguimiento de los humanos en uno o más marcos.
- Estimación de la pose del humano en uno o más marcos.
- Reconocimiento: Reconocer la identidad del individuo, al igual que las acciones, actividades y comportamientos llevados a cabo por uno o más humanos en uno o más marcos.

Simultáneamente se plantean algoritmos para la estimación de las posturas.

### 2.1. Procedimiento para el análisis del movimiento

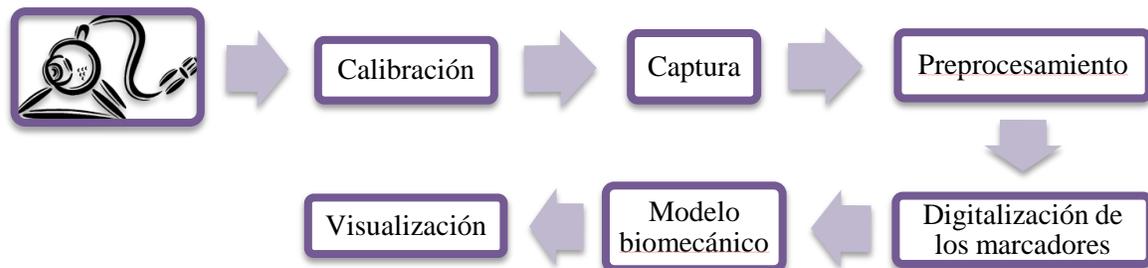


Figura 1. Esquema de desarrollo para el análisis del movimiento en dos dimensiones.[4]

La primer parte consiste en la filmación del video. La cámara es estática y se encuentra ubicada paralela al plano de vista de la persona bajo análisis. En esta parte es necesario escoger una distancia para evitar los errores de paralaje (entre 3 y 4 metros).

La calibración se realiza para evitar los errores que se dan por la ubicación de la cámara, por ejemplo, errores de rotación y perspectiva y también para conocer la equivalencia que hay entre un pixel y una medida física, como el centímetro.

El proceso de captura consiste en guardar las imágenes obtenidas, en un computador.

El preprocesamiento consiste en la interpolación de dos imágenes para “duplica la frecuencia de muestreo de la cámara a 60 cuadros por segundo, suficiente para la máxima componente frecuencial de la marcha, que es 6 Hz” [5]. Adicionalmente se habla del filtrado de la imagen, creación de histogramas, etc. Incluye también una sección dedicada a la segmentación, donde se realiza la substracción del fondo, detección de bordes, región de interés, etc.

En el modelo biomecánico se modela al cuerpo humano como una serie de segmentos que se encuentran conectados por articulaciones.

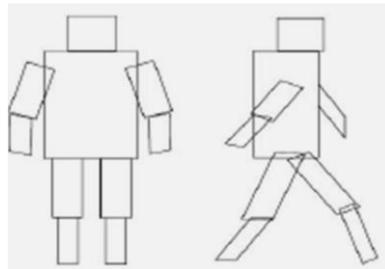


Figura 2. Cuerpo humano modelado usando planos rectangulares [5]

En el caso de [5] se adiciona un paso que es la representación que consiste en la extracción de contornos, acomodación al modelo, etc., para luego realizar el seguimiento.

Finalmente se realiza la visualización que consiste en presentar los datos al usuario.

## **2.2. Segmentación**

Es necesario hacer énfasis en la segmentación de la imagen, ya que en ésta se identifican grupos o regiones de pixeles conectados por propiedades similares, en el documento de [5] se puede encontrar mayor información. Estos segmentos son importantes porque representan las zonas de interés para el procesamiento de la imagen en una escena.

### **2.2.1. Detección de bordes**

Un borde ocurre en el límite entre dos regiones diferentes de una imagen donde hay un cambio significativo. Un algoritmo detector de bordes produce una serie de bordes o puntos de borde en una imagen. Las coordenadas del punto de borde pueden darse respecto a las coordenadas de la imagen. Existen tres pasos para la detección de bordes: filtrado, mejoramiento y detección.

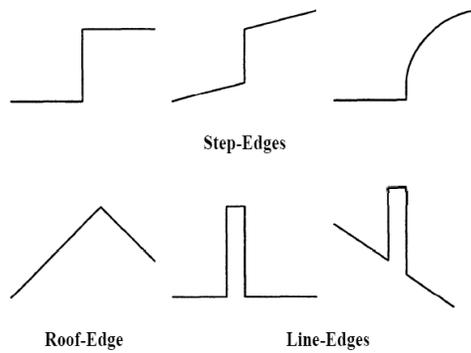


Figura 3. Tipos de bordes [5]

Muchos detectores de bordes se basan en la primera derivada de la intensidad, lo que da el gradiente de intensidad de los datos originales.

Para estimar los gradientes de una imagen a partir de una imagen de entrada, o una versión suavizada de ella, se pueden utilizar diferentes operadores de gradiente. La aproximación más simple es utilizar diferencias centrales:

$$L_x(x, y) = -1/2 \cdot L(x - 1, y) + 0 \cdot L(x, y) + 1/2 \cdot L(x + 1, y)$$

$$L_y(x, y) = -1/2 \cdot L(x, y - 1) + 0 \cdot L(x, y) + 1/2 \cdot L(x, y + 1)$$

Correspondiendo a la aplicación de las siguientes máscaras de filtro a los datos de imagen:

$$L_x = [-1/2 \quad 0 \quad 1/2] * L \quad \text{and} \quad L_y = \begin{bmatrix} +1/2 \\ 0 \\ -1/2 \end{bmatrix} * L.$$

Donde L es la imagen original.

El operador Sobel se basa en los siguientes filtros:

$$L_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} * L \quad \text{and} \quad L_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * L.$$

Obtenidas las estimaciones de las derivadas de primer orden, la magnitud del gradiente se computa:

$$|\nabla L| = \sqrt{L_x^2 + L_y^2}$$

Mientras la orientación del gradiente se puede estimar:

$$\theta = \text{atan2}(L_y, L_x)$$



Figura 4. Video original y detección de bordes con filtro Canny

### 2.2.2. Umbralización

La umbralización es uno de los métodos más simples de la segmentación. Se puede extraer un objeto del fondo agrupando los valores de intensidad acorde con el valor del umbral. Para una umbralización sencilla, la imagen resultante según [6] está dada por

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{si } f(x, y) > T \\ 0, & \text{si } f(x, y) < T \end{cases} \quad \text{donde } T \text{ es el valor del umbral} \quad (4)$$

Similarmente la umbralización múltiple está dada por:

$$g(x, y) = \begin{cases} a, & \text{si } f(x, y) > T2 \\ b, & \text{si } T1 < f(x, y) \leq T2 \\ c, & \text{si } f(x, y) \leq T1 \end{cases} \quad \text{donde } a, b, c \text{ son tres valores de intensidad diferentes} \quad (5)$$



Figura 5. Ejemplo de umbralización

#### 2.2.2.1. Umbralización basada en histogramas

También llamado umbralización adaptativa, es un método más eficiente que utiliza un valor de umbral adaptativo. Una aproximación atractiva es el método de [7]. En él encuentra un valor adecuado para el umbral, calculado a partir del histograma.

### 2.2.3. Método morfológico de escala de grises

Las operaciones básicas de dilatación, erosión, apertura y cierre pueden extenderse a imágenes en escala de grises. El concepto es similar a las operaciones morfológicas binarias.

La substracción entre la dilatación y la erosión puede ser utilizada para obtener el gradiente morfológico de una imagen. El resultado está dado por:

$$g = (f \oplus b) - (f \ominus b) \quad (6)$$

donde  $(f \oplus b)$  es dilatación de  $f$  por un elemento plano estructural  $b$  en algún punto  $(x, y)$ . Que es,  $[f \oplus b](x, y) = \max_{(s,t) \in b} \{f(x - s, y - t)\}$

$(f \ominus b)$  es erosión de  $f$  por un elemento plano estructural  $b$  en algún punto  $(x, y)$ . Que es,  $[f \ominus b](x, y) = \min_{(s,t) \in b} \{f(x + s, y + t)\}$

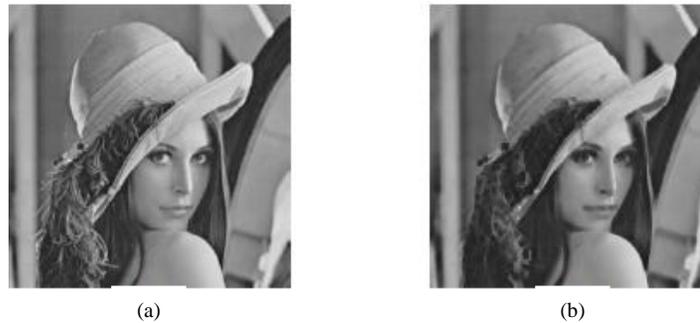


Figura 6. Método de erosión. (a) Imagen original, (b) imagen erosionada.[8]

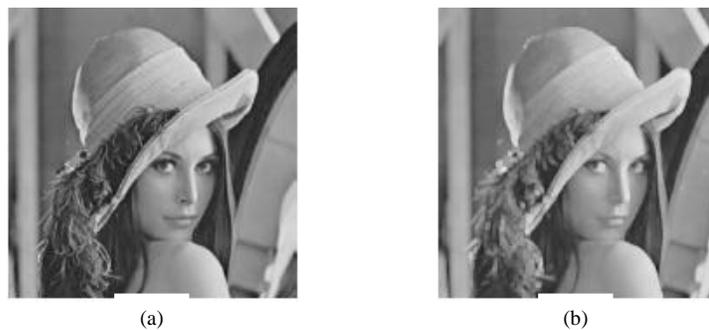


Figura 7. Método de dilatación. (a) Imagen Original, (b) imagen dilatada.[8]

### 2.2.4. Segmentación basada en el color

El color aporta información muy importante para la vision. Los humanos utilizamos los colores para diferenciar y separar los objetos. Por lo que es un enfoque interesante hacer segmentación utilizando la información para cualquier espacio de color elegido.

#### 2.2.4.1. Segmentación del espacio de color $L^*a^*b/9/$

Los humanos podemos distinguir diferentes colores visualmente. El espacio Lab puede utilizarse para cuantificar estas diferencias visuales. Consiste en:

L: Luminosidad o brillo.

a: capa cromática que indica donde el color cae sobre el eje rojo – verde.

b: capa cromática que indica donde el color se ubica a lo largo del eje azul – amarillo.

La diferencia entre las capas a y b, se puede calcular con la distancia Euclidiana.

Algoritmo:

Definir regiones de muestra de colores promedio en el espacio ab para el color de cada segmento.

Usar estos marcadores de color para clasificar cada pixel.

Clasificar cada pixel utilizando la regla del vecino más cercano.

Encontrar la distancia euclidiana entre el pixel y cada marcador de color; la menor distancia clasifica a ese pixel como el marcador de ese color.

### 2.3. Reconocimiento de objetos

El reconocimiento de objetos consiste en identificar puntos de interés en un *frame* de video y predecir su posición en el *frame* siguiente. Luego de obtener las regiones de interés en el cuerpo humano, se procedería a hacer un seguimiento de las mismas para identificar los movimientos. Una forma es utilizar la configuración actual del *frame* de video y un modelo dinámico para predecir la siguiente configuración [10][11], o utilizando Kalman [12] o filtros de partículas, [13] que usan predicciones múltiples obtenidas a partir de muestras a priori a través de un modelo dinámico.

### 2.4. Clasificación de los pixeles

La imagen generalmente se obtiene en los planos BGR, por lo tanto se hace una transformación al espacio HSV para hacer que la intensidad o brillo sea explícito e independiente de la cromaticidad.

Para la sustracción del fondo, sea  $v(x,y)$  la distribución del color de cada pixel en una coordenada  $(x,y)$  modelada como un gaussiano. Usando  $k_b$  *frames* de entrenamiento, la media  $\hat{\mu}(x,y)$  y la desviación estándar  $\hat{\sigma}(x,y)$  de cada canal de color se calcula en cada locación de pixel  $(x,y)$ . [14]

La segregación es realizada por cada pixel  $v(x,y)$ , utilizando un modelo de fondo simple: en cada pixel de la imagen  $(x,y)$  de un *frame* de entrada dado, el cambio en la intensidad del pixel se evalúa computando la distancia Mahalanobis ( $\delta$ ) del modelo de fondo gaussiano.

$$\delta(x, y) = \frac{|v(x,y) - \hat{\mu}(x,y)|}{\hat{\sigma}(x,y)} \quad (7)$$

La imagen de fondo  $F(x,y)$  se define como el máximo de las tres medidas de distancia  $\delta_H$ ,  $\delta_S$  y  $\delta_V$  para los canales H, S, V;

$$F(x, y) = \max[\delta_H(x, y), \delta_S(x, y), \delta_V(x, y)] \quad (8)$$

$F$  es luego umbralizado para hacer una imagen binaria. En esta etapa, se realizan las operaciones morfológicas como un paso de post procesamiento para eliminar pequeñas regiones de pixeles de ruido.

### 2.4.1. Mezcla del Modelo Gaussiano para distribución de color

En el espacio HSV los valores de color de un pixel en la ubicación (x,y) son representados por una variable aleatoria  $v = [H,S,T]^T$  con el vector dimensión  $d = 3$ .

La distribución de color para un pixel de primer plano  $v$  se modela como la mezcla de  $C_0$  gaussianos organizados por probabilidad de prioridad  $P(\omega_r)$ , dado por:

$$p(v) = \sum_{r=1}^{C_0} p(v | \omega_r) P(\omega_r) \quad (9)$$

Donde la  $r$ -ésima probabilidad condicional se asume como gaussiana de la forma:

$$p(v | \omega_r) = 2\pi^{-\frac{d}{2}} |\Sigma_r|^{-\frac{1}{2}} \exp \left[ -\frac{(v-\mu_r)^t \Sigma_r^{-1} (v-\mu_r)}{2} \right], \quad r = 1, \dots, C_0 \quad (10)$$

Cada componente gaussiano  $G_r = \{P(\omega_r), \mu_r, \Sigma_r\}$  representa una probabilidad anterior  $P(\omega_r)$  de la  $r$ -ésima clase de color  $\omega_r$ , un vector promedio  $\mu_r$  del componente de color del pixel, y una matriz de covarianza  $\Sigma_r$  de los componentes de color.

### 2.4.2. Entrenamiento de los parámetros gaussianos

Para obtener los parámetros gaussianos  $G_r = \{P(\omega_r), \mu_r, \Sigma_r\}$ , se utiliza el algoritmo de maximización de la expectativa con los primeros  $\eta$  frames de la secuencia como los datos de entrenamiento ( $\eta = 5$ ). La inicialización de los parámetros gaussianos es así: todas las probabilidades anteriores se asumen iguales,  $P(\omega_r) = 1/C_0$ , la media se escoge aleatoriamente de una distribución uniforme con un rango posible de valores de pixel y la matriz de covarianza se asume como una matriz identidad.

## 2.5. Clasificación de las poses

Se puede escoger un número de poses para crear los diferentes modelos. De esto depende la robustez del algoritmo. Se le puede colocar una etiqueta a cada pose, de forma que cuando se observe, se pueda reconocer fácilmente, esto, creando un tipo de máscara con la que se compare la posición actual, con la base de datos de posibles posiciones.

### 3. ESPECIFICACIONES

El sistema de detección del cambio de la postura de una persona que realiza una actividad en un lugar cerrado consiste en un conjunto de algoritmos implementados en el lenguaje de programación C++ utilizando las librerías de OpenCV versión 2.0 [15] que pretenden obtener parámetros ergonómicos ofreciendo información útil para un análisis ergonómico posterior.

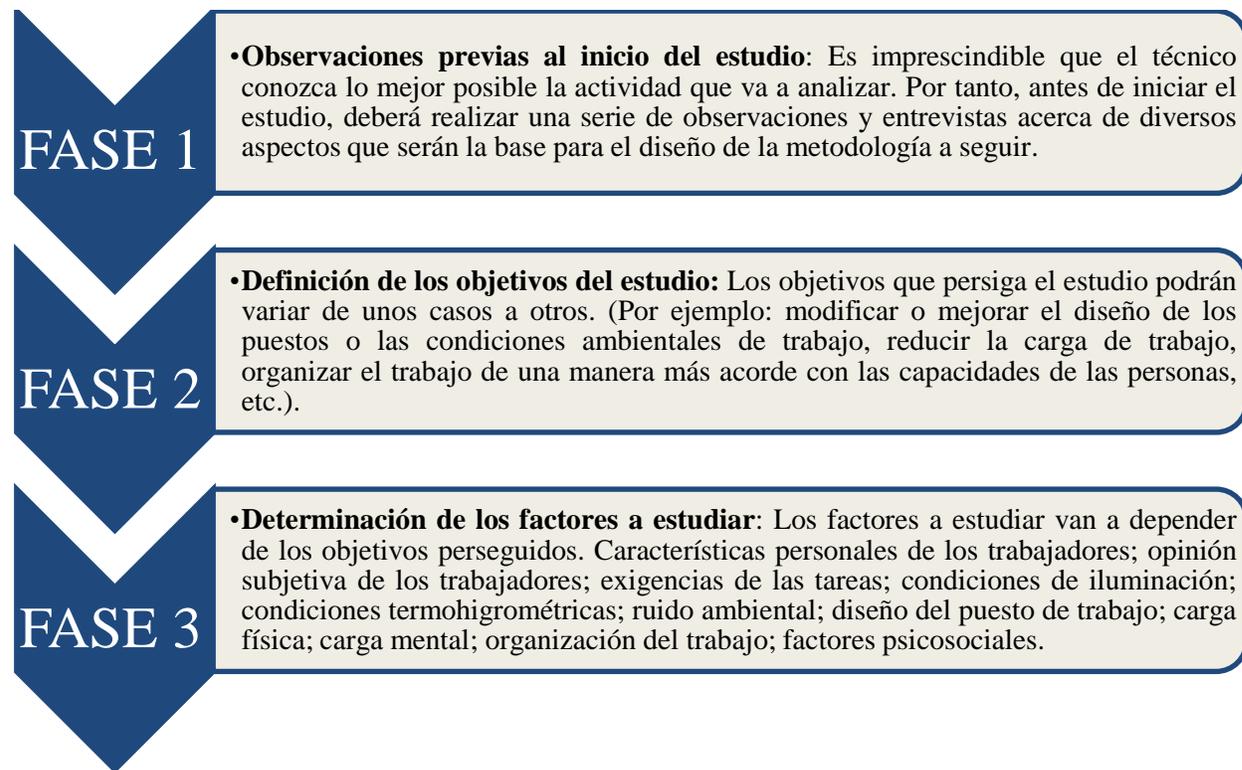
Los algoritmos permiten reconocer marcadores que se encuentran sobre el sujeto y seguirlos para luego registrar e interpretar los movimientos y finalmente identificar la postura de la persona que se encuentra bajo estudio además de las variaciones que tiene a lo largo del tiempo.

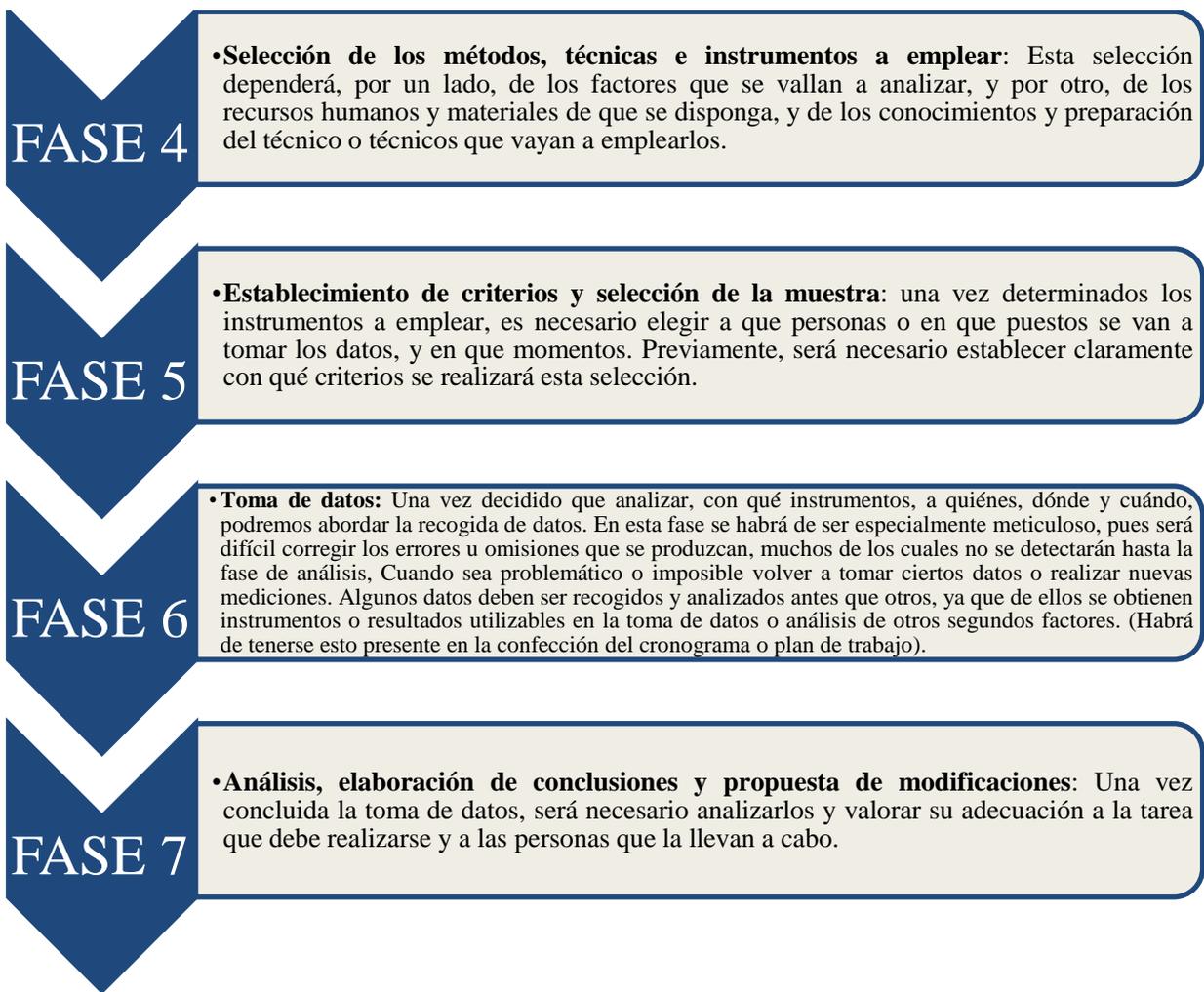
La información se va a obtener a partir de varias capturas de video con una cámara web genérica, de bajo costo, pero que permita diferenciar los marcadores colocados sobre la persona, dentro del video; estas cámaras generalmente tienen una resolución de 1.3 megapíxeles (Mpx).

Las ventajas de hacer varias tomas de video (con diferentes personas, atuendos, lugares, entre otros) es que se puede crear un espacio amplio de aplicación, ya que para las investigaciones de ergonomía es necesario conocer varias características del sujeto bajo observación como lo son el sexo, la raza, la edad, constitución corporal y adiestramiento, para diseñar de la mejor forma un espacio apto para el trabajo de una persona, por ejemplo, los porcentajes de medidas entre brazos y piernas de una persona oriental es diferente a una europea o latinoamericana.

Un estudio ergonómico del puesto de trabajo se refiere al “estudio concreto y exhaustivo de las relaciones entre un solo hombre y una máquina, medios o instrumentos que utiliza para trabajar”.

El procedimiento metodológico, propuesto en [16], consta de 7 fases:





De acuerdo a la información anterior, el presente trabajo de grado se basa en la fase 6, la toma de datos.

En el documento [17] se explica que el uso de cámaras de video es ventajoso, debido a que es posible repetir el video cuantas veces sea necesario y analizarlo.

### **3.1. Condiciones ambientales, de equipo y software y de atuendo de la persona bajo estudio**

Numeración de las condiciones necesarias para el correcto funcionamiento del sistema.

#### **3.1.1. Condiciones ambientales**

El proyecto está enfocado en obtener información en lugares cerrados y con una persona sentada de perfil en los laboratorios de Ingeniería Electrónica dentro la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana - Bogotá.

Estos laboratorios cuentan con fondos que varían entre casilleros, paredes de ladrillo y tableros para marcadores borrables de color blanco. Para el óptimo funcionamiento del proyecto, es necesario que el fondo no sea brillante o de color blanco, idealmente de color oscuro y opaco, como el caso de la figura 9.



Figura 8. Imágenes de los cubículos



Figura 9. Fondo controlado.

En [18] se numeran “cinco factores de primer orden que determinan el riesgo de alteraciones de agudeza visual o cansancio visual:

- Edad: Hay que tener en cuenta que el nivel de agudeza visual se va deteriorando con la edad, independiente de estar expuesto o no al factor de riesgo.
- Nivel de Iluminancia: Su importancia es primordial. Aunque no pueda establecerse una relación exacta entre el nivel de Iluminancia y las alteraciones de agudeza visual, la carencia o excesiva presencia de Iluminación se puede ocasionar deficiencias visuales.
- Susceptibilidad Individual: Es la característica que posee cada persona de reaccionar ante la exposición al factor de riesgo por sus condiciones y antecedentes personales.
- Tiempo de Exposición: Se considera desde dos aspectos: por una parte, el correspondiente a las horas/día u horas/semana de exposición, y por otra parte, la edad laboral o tiempo en años que el trabajador lleva actuando en un puesto de trabajo con un nivel de Iluminación determinado.
- Tipo de Iluminación: Influye en cuanto a sus características, siendo de tipo Natural y/o Artificial. Conociéndose que la luz natural produce un menor cansancio visual y una apreciación de los colores en su valor exacto. Aunque el hecho de ser variable requiere que sea complementada con luz artificial. La determinación de los sistemas de Iluminación, es quizá uno de los aspectos que está más ligado a la arquitectura industrial, siendo por esto uno de los factores más difícilmente modificables o adaptables.”

De acuerdo a esta información, la iluminación del lugar debe ser controlada de forma que no ponga en riesgo la capacidad visual de la persona bajo observación y que en lugares importantes como en el codo y

la rodilla no se presenten mayores sombras, ya que estos factores afectan los umbrales predeterminados de los marcadores. Durante las pruebas la iluminación se produjo con lámparas fluorescentes colocadas a lo largo del laboratorio, de luz blanca y ubicadas en el techo del lugar.

### 3.1.2. Condiciones de equipo y software

#### 3.1.2.1. Marcadores

Se utilizarán marcadores esféricos de 3cm de diámetro de colores fosforescentes amarillo, verde, naranja, rosado, sandía y blanco, dado que después de las pruebas preliminares, estos se identificaban dentro de la imagen sin mayores pérdidas de información.

En las pruebas realizadas, el mejor juego de marcadores se presentó al utilizar el color rosado en el brazo, el verde en el tronco y el amarillo en la pierna, posteriormente se explica esta decisión.

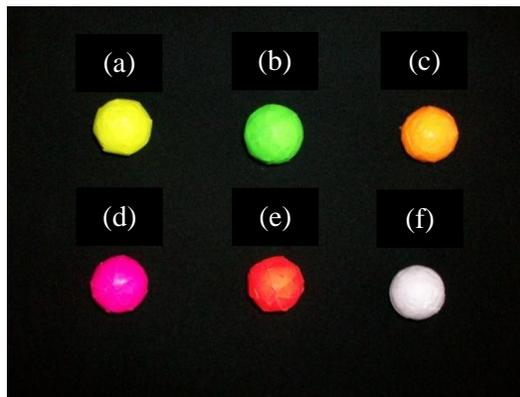


Figura 10. Marcadores. (a) Amarillo; (b) verde; (c) naranja; (d) rosado; (e) sandía; (f) blanco.

#### 3.1.2.2. Cámara web

Se utilizó una cámara de video con entrada al computador por puerto USB de marca Genius VideoCAM Web. Cuenta con resolución de 640x480 y captura 25 fps (*frames* por segundo). Es fácil encontrar una cámara con características similares en el mercado, lo que le brinda al sistema una mayor factibilidad de implementación.



Figura 11. Cámara web Genius VideoCAM Web

#### 3.1.2.3. Equipo de cómputo

Se requiere la instalación de un entorno de desarrollo integrado según el sistema operativo para el manejo de lenguaje C++. En este caso se utilizó el programa Visual Studio C++ versión 2008, incluyendo la librería de OpenCV versión 2.0 de Intel. Es preferible un equipo que tenga por lo menos 1GB de RAM, con procesador Intel IV o superior (se habla de Intel debido a que el diseño de los procesos de OpenCV

tiene mucho que ver con el diseño de procesadores Intel, ya que son los creadores de esta biblioteca) ó procesador AMD que es compatible con la biblioteca OpenCV y tarjeta de video (Intel GMA 3150 o superior). En cuanto a los videos, se utilizó el códec<sup>2</sup> K-Lite Codec Pack 6.5.0 Full y los videos se almacenan en formato AVI.

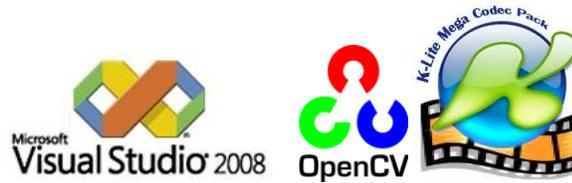


Figura 12. Logos de los programas utilizados.

### 3.1.3. Condiciones de la persona bajo estudio

La persona debe utilizar prendas de colores que no se encuentren dentro de los umbrales de color de los marcadores elegidos, preferiblemente de colores oscuros; camisa manga larga o suéter no muy grueso, pues para mejores resultados la ropa debe enmarcar bien el cuerpo.



Figura 13. Condiciones ideales de ropa de la persona bajo estudio.

## 3.2. Sistema de detección de cambios de postura

El siguiente diagrama de flujo plantea el proceso que lleva a cabo el sistema para entregar finalmente la información de las posturas de la persona bajo estudio.

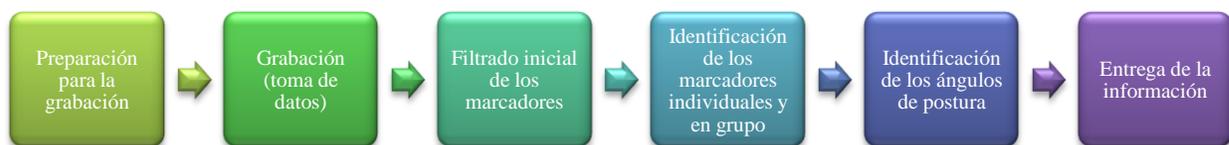


Figura 14. Diagrama de bloques del Sistema de detección del cambio de la postura de una persona que realiza una actividad en un lugar cerrado.

<sup>2</sup> Códec de video es un codificador – decodificador que permite comprimir o descomprimir un video. La importancia de esta aplicación radica en almacenar los videos en un tamaño sustancialmente menor de la información de video. El video es comprimido al momento de almacenar, pero se descomprime al ser visualizado por el usuario, siendo para el usuario totalmente transparente el procesamiento.

## 4. DESARROLLO

En la presente sección se explica el desarrollo del diseño del sistema. Inicialmente se trabajó en la elección de los marcadores, posteriormente las condiciones ambientales como lo son calibración de la cámara, ubicación de los marcadores en el cuerpo de la persona y el control de la iluminación y finalmente en el ítem 4.5 se explica el algoritmo diseñado para implementar en un computador con las características nombradas anteriormente para así entregar los resultados al usuario final.

En ergonomía existen diferentes métodos de análisis de datos. Entre ellos se encuentran:

- RULA - Rapid Upper Limb Assessment. Evaluación rápida de miembros superiores, para investigar los riesgos de trauma acumulativo como la postura, fuerza y análisis del uso de músculos.
- OWAS - Ovako Working Posture Analysis System. Analiza como prioridad a la postura y la carga.
- Evaluación de Drury para movimientos repetitivos. Analiza la postura, repetición e incomodidad que el trabajador presenta al realizar movimientos de alto riesgo.
- Observación y análisis de la mano y la muñeca. Cuantifica las extensiones asociadas con factores de riesgo de agarre de los dedos, fuerzas grandes, flexión de muñeca, extensión, desviación lunar, presión sobre herramientas y uso de objetos con la mano.
- Modelo de fuerza comprensiva de Utah. Evalúa los riesgos de la espalda baja en un tiempo de una tarea de carga basada en la compresión de discos lumbares.
- Modelo del momento del hombro. Evalúa el riesgo del hombro en una carga comparando el momento de la capacidad individual.
- Guías prácticas de trabajo NIOSH (1981). Evalúa los riesgos de carga basados en los parámetros de NIOSH.
- Ecuación revisada de carga de NIOSH (1991). Evalúa los riesgos de trabajo con cargas basados en parámetros de NIOSH.
- Modelo metabólico de la AAMA. Evalúa los riesgos de la carga física de una tarea.
- Análisis antropométrico. Determina las dimensiones apropiadas al puesto de trabajo para varios tamaños del cuerpo.
- Análisis desarrollado por Checklist para estaciones de trabajo de computación.

Los métodos de evaluación ergonómica en espacios cerrados se pueden dividir en cinco grupos, de acuerdo a la información que se quiere obtener:

- Repetitividad de Movimientos: métodos JSI (Job Strain Index) y OCRA Check List (Occupational Repetitive Action).
- Carga Postural: métodos RULA (Rapid Upper Limb Assessment), REBA (Rapid Entire Body Assessment), OWAS (Ovako Working Analysis System) y EPR (Evaluación Postural Rápida).
- Manipulación de Carga: NIOSH (Ecuación Revisada de Niosh), GINSHT (Guía técnica para la manipulación manual de cargas del INSHT) y Tablas de SNOOK y CIRIELLO.
- Ambiente Térmico: FANGER (Evaluación de la Sensación Térmica).
- Evaluación global: LEST.

De acuerdo a la información que se obtiene en los diferentes métodos, se descartó la posibilidad de conocer cantidades relacionadas a esfuerzo, ya que a partir de una imagen no es posible conocer las cargas que maneja la persona bajo observación, pero si es posible conocer las cargas posturales.

Los métodos RULA y OWAS asignan un valor a cada rango de ángulos en que se encuentren las diferentes partes del cuerpo, pero también asignan a movimientos rotatorios, que en el caso de utilizar marcadores, no se pueden identificar.

El método EPR brinda poca información ya que determina 14 posibles posturas genéricas que puede adoptar el trabajador, pero no brinda mayor información respecto al desarrollo de una actividad.

Finalmente, el método REBA requiere información de los ángulos y los tiempos en que encuentra una persona mientras realiza una actividad. Igual que los métodos RULA y OWAS, le asigna un valor a cierta posición de acuerdo al rango de ángulos en que se encuentren las diferentes partes del cuerpo, pero no tiene en cuenta información de giro o de movimientos rotatorios. De acuerdo a esto, el proyecto limita su desarrollo a la obtención de información de los ángulos de diferentes partes del cuerpo que definen las posturas de una persona mientras realiza una actividad (normalmente de estudio o de diseño de circuitos) en un cubículo del Departamento de Electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana – Bogotá.

#### **4.1. Elección de los marcadores**

Una parte fundamental del sistema es la colocación de marcadores sobre la persona bajo estudio. Dichos marcadores fueron elegidos debido a sus características de tono, saturación y brillo; distinguibles en la imagen obtenida en el computador.

De acuerdo al tipo de ropa que los estudiantes utilizan generalmente, es necesario el uso de colores fuertes y con altos niveles de luminosidad para que a lo largo de la ejecución del programa no se tengan problemas de detección de objetos diferentes a los marcadores.

Los materiales utilizados para los diferentes tipos de marcadores fueron cartulina fosforescente, esferas de icopor (por su característica de ser altamente livianas a comparación de otros materiales), papel bond adhesivo y láminas adhesivas reflectivas.

El proceso de elección de marcadores se explica a continuación.

##### **4.1.1. Marcadores fosforescentes de 2 dimensiones**

La primera idea respecto a los marcadores fue utilizar colores fosforescentes de forma cuadrada y redonda con tamaños de 2 y 3 centímetros.



**Figura 15. Marcadores de 2D; (a) Circulares, (b) Cuadrados.**

El problema de estos marcadores es que al abarcar únicamente dos dimensiones, pueden perderse fácilmente durante la grabación, por ejemplo cuando la persona gira o se hacen arrugas en la ropa, por esta razón se decidió descartarlos.

En la evaluación de estos marcadores, se obtuvieron imágenes con altos niveles de brillo en los lugares en los que se ubican los marcadores.

#### 4.1.2. Marcadores reflectivos de 3 dimensiones

Las tomas de video realizadas posteriormente se realizaron con marcadores reflectivos, esféricos y de dos y tres centímetros de diámetro. En diferentes artículos, en especial en [4], se han utilizado este tipo de marcadores debido a sus propiedades de reflexión de la luz, esto implica que al tener una fuente directa de luz, ésta se reflejará, caracterizando a los marcadores dentro de una imagen con un alto valor de brillo. Esto implicaría que se requiere una fuente de luz directa sobre los marcadores para así obtener altos niveles de luminosidad en los lugares donde se ubican estos marcadores, por lo que pueden ser molestos para la persona bajo estudio y altere su conducta; y es importante que su comportamiento sea el más natural posible.

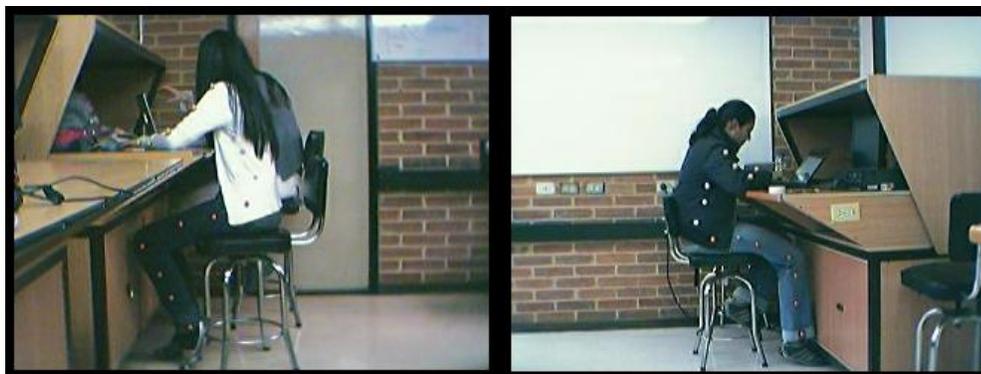


Figura 16. Marcadores reflectivos; (a) esféricos de 2cm de diámetro, (b) esféricos de 3cm de diámetro.

Ante esta situación se decidió utilizar marcadores fosforescentes que no requieren mayor uso de luces adicionales a las del laboratorio, tienen alto nivel de brillo y no se confunden fácilmente con los atuendos que suelen utilizar los estudiantes de la facultad.

#### 4.1.3. Marcadores fosforescentes de 3 dimensiones

Finalmente se eligieron los marcadores fosforescentes tridimensionales, ya que se pueden distinguir fácilmente con el programa diseñado que se explica posteriormente.



Figura 17. Diferenciación de marcadores fosforescentes y reflectivos.

## 4.2. Colocación de la cámara

En [19] se utilizan condiciones similares para la filmación de personas en movimiento; en este documento dice: “El ambiente de filmación debe tener las dimensiones suficientes para colocar la cámara a por lo menos 4m del plano de filmación, esto asegura que los errores por paralelaje se mantendrán por debajo del 5% mientras el paciente no se aleje más de 20cm del plano de calibración”. De acuerdo a las pruebas realizadas es necesario colocar la cámara de forma perpendicular a la persona bajo estudio y a 4m de la misma ya que de esta forma es posible realizar una toma completa de ella y permite tener un rango suficiente de movimiento para no perder partes del cuerpo dentro de la imagen.

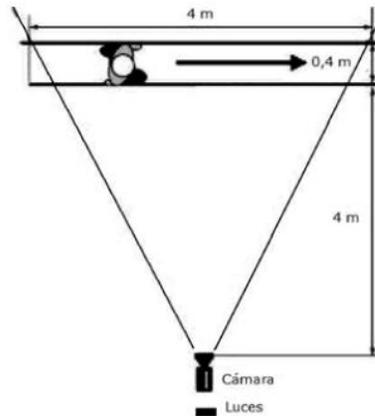


Figura 18. Plano de posición de la cámara [4]

### 4.3. Colocación de los marcadores

Se requiere el uso de tres marcadores de colores fosforescentes. El primer color, rosado, se utilizará en la pierna, colocando inicialmente un marcador en el tobillo, otro en la rodilla y otro donde comienza la cadera. Luego se procede a colocar otros dos marcadores entre la cadera y la rodilla y finalmente entre la rodilla y el tobillo; en total se colocan siete marcadores de este color.

El segundo color utilizado es amarillo, se colocará en el brazo; los marcadores se colocarán en el hombro, codo, intermedio hombro – codo, muñeca e intermedio codo – muñeca; en total cinco marcadores.

El tercer color es verde y se colocarán tres marcadores distribuidos uniformemente a lo largo del tronco.

### 4.4. Control de la iluminación

Los laboratorios del Departamento de Electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana – Bogotá, cuentan con luz fluorescente de color blanco, con focos ubicados a lo ancho del lugar. Estos focos proveen suficiente luz al lugar, no se presentan muchas sombras y no es necesario adicionar reflectores que puedan molestar a la persona bajo observación.

Por otro lado es necesario controlar la iluminación natural que pueda ingresar al laboratorio, afortunadamente se cuenta con persianas y al cerrarlas, se bloquea. En caso de ser necesaria mayor iluminación en lugares como el codo y la rodilla, se puede ajustar la persiana de forma que ingrese sólo la luz necesaria.

### 4.5. Desarrollo del algoritmo

Para el procesamiento de los videos, desde la captura hasta la definición de las posturas y tiempos, se utiliza un computador con el programa Visual Studio C++ 2008 versión EXPRESS y las librerías de OpenCV (“*Open Source Computer Vision*” – biblioteca libre de visión artificial) versión 2.0, diseñada por la empresa Intel desde al año 1999 y que a lo largo de los años se han adicionado un gran número de funciones útiles para el procesamiento de imágenes, lo que le ha brindado una mayor robustez y muy buenos tiempos de respuesta.

El sistema entrega automáticamente, con una pequeña intervención del usuario las variaciones entre los ángulos de ciertas partes del cuerpo (ángulo del brazo, muslo y torso respecto a la referencia denotada en la figura 19, ángulos entre brazo y antebrazo y finalmente los ángulos entre el muslo y la pierna); igualmente se creará un registro de los datos obtenidos. Para evaluar la eficacia de las diferentes técnicas de detección y reconocimiento de las partes del cuerpo.

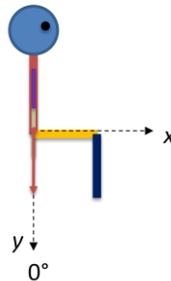


Figura 19. Vector referencia del sistema (flecha roja)

El algoritmo desarrollado se divide en cuatro bloques de procesamiento que serán descritos a continuación.

#### 4.5.1. Filtración de los marcadores

##### 4.5.1.1. Estado de procesamiento de la imagen

En este paso se le da inicio al código diseñado. La primer parte del código está dedicada a la grabación de los videos por medio de la cámara web externa. La información se va almacenando en el computador en formato tipo AVI o también es posible procesarla directamente. La ventaja de obtener las imágenes de esta forma es que se pueden procesar de forma rápida y con resultados casi inmediatos.

El video se almacena como una compilación de *frames* organizados uno tras otro; los *frames* son análogos a fotografías. En este caso se toma cierta cantidad de fotos en un segundo (por el tipo de cámara, 25), por lo que también es posible ubicar un cuadro de imagen en el tiempo, y para nuestro interés, se puede realizar un conteo del tiempo que dura la persona en una misma postura.

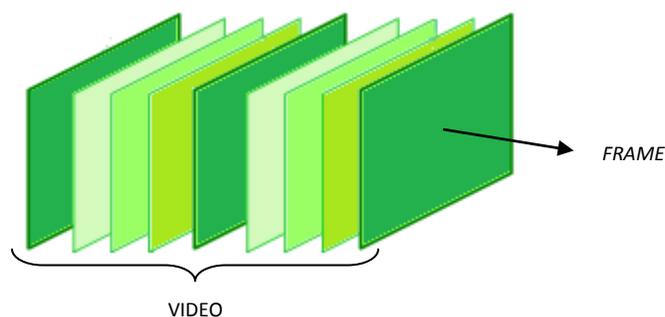


Figura 20. Colección de frames

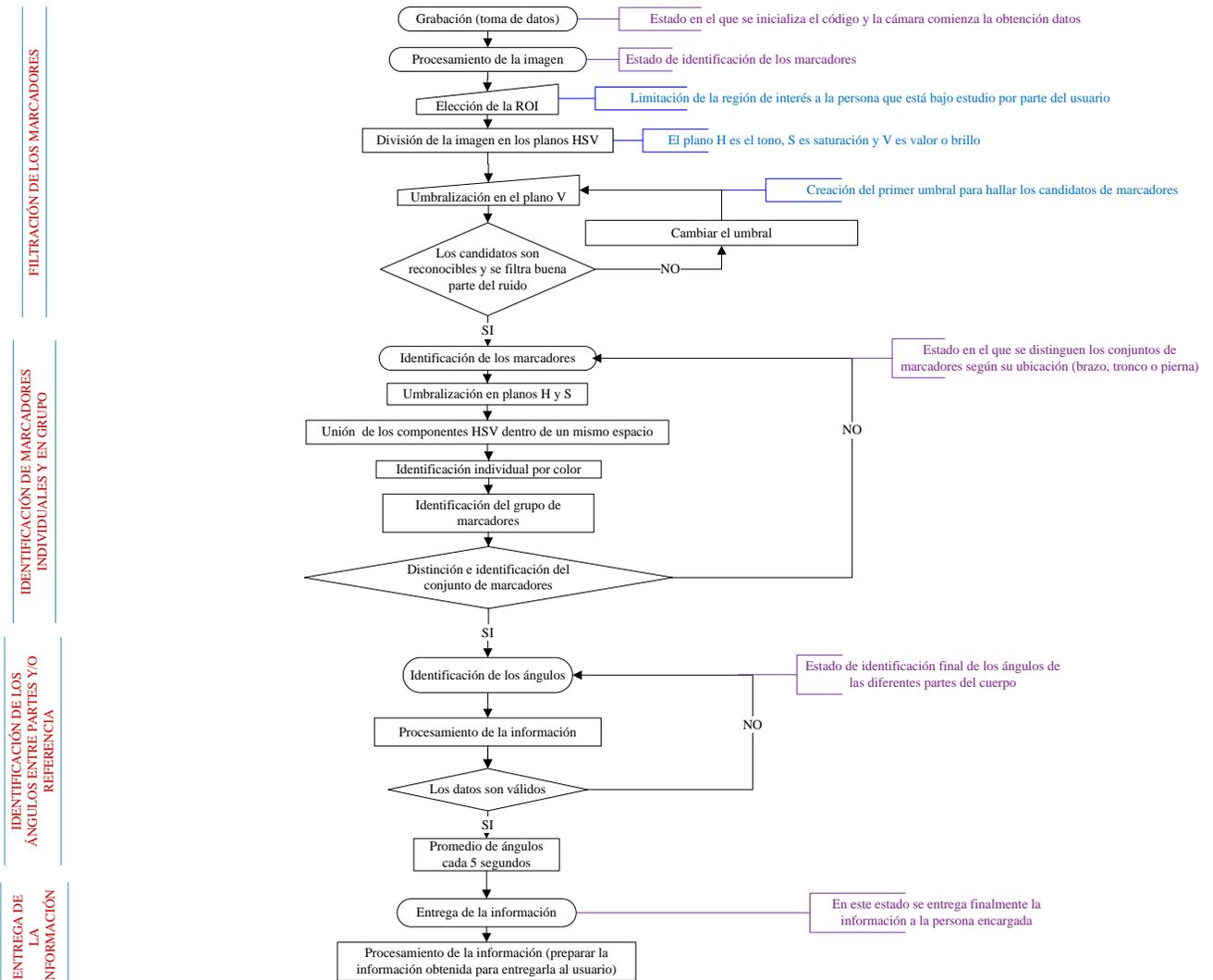


Figura 21. Diagrama de flujo del algoritmo.

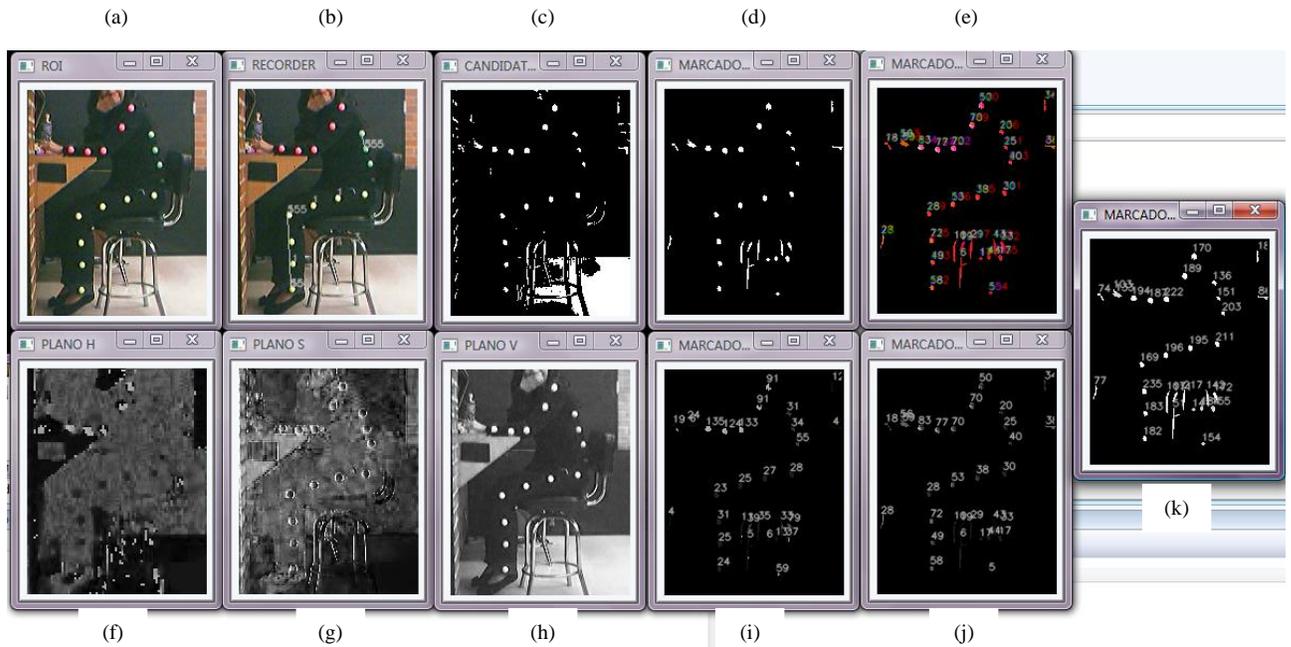
Luego el usuario elige una región de interés (ROI – *Region of interest*) para delimitar la zona donde se encontrará la persona trabajando, esto se realiza para mejorar la velocidad de procesamiento evitando analizar partes de la imagen innecesarias y realizando un filtrado inicial del ruido de la imagen, posteriormente en la ventana del ejecutable (de color negro) informa el lado del perfil de la persona que se grabó.

La imagen obtenida se divide en los componentes, H, S y V.

Debido a la naturaleza de color de los marcadores (colores de alto brillo, fosforescentes) y la información que brinda el plano V, se realiza el segundo filtrado en éste excluyendo gran parte de los colores que rodean a la persona bajo estudio y delimitando los candidatos a ser marcador dentro de cada *frame*.

Dentro del plano V se le asigna al brillo de los colores valores entre 0 y 255. Los valores bajos representan colores oscuros y los altos colores brillantes, por lo que es posible identificar los candidatos a ser marcador filtrando una gran cantidad de colores por medio de la creación de un umbral en valores altos. El umbral puede ser modificado durante la calibración de la cámara según las condiciones de luz y dejarlo fijo durante la grabación.

En la figura 22 (c) se encuentran los candidatos a marcador, ubicados gracias a este umbral.



**Figura 22.** (a) Región de interés. (b) Líneas de unión entre partes. (c) Candidatos a marcador. (d) Candidatos a marcador luego de binarización. (e) Unión de información de marcadores. (f) Plano H. (g) Plano S. (h) Plano V. (i) Información de marcadores en el plano H. (j) Información de marcadores en el plano S. (k) Información de marcadores en el plano V.

En la ventana (d) se observa el resultado de la binarización<sup>3</sup> de la ventana (c); esto brinda aún más velocidad al procesamiento, ya que solo se trabaja con dos valores asignados a todos los píxeles.

Como se puede observar en los diferentes elementos de la figura, en este paso son sumamente importantes los colores de los marcadores, por lo que se escogieron de forma que se identificaran fácilmente en este plano y se pudieran extraer de la imagen.

El umbral es ajustado por el usuario de forma que siempre sea posible observar dentro de la ventana (d) todos los marcadores, distinguir su forma y poder diferenciar uno de otro. No importa si se filtran objetos diferentes a los marcadores, éstos se filtrarán posteriormente, pero es importante que dentro de la imagen se puedan observar todos los marcadores.

Al apuntar y hacer “click” sobre la ventana (c) de la figura, se puede modificar el umbral inicial. Para aumentarlo (disminuye las posibilidades de colores dentro de los candidatos a marcador) se oprime la letra “a” y si se pierden marcadores, entonces se oprime la letra “d”, con la que se disminuye el umbral y aumentan las posibilidades de otros colores para entrar en la base de datos de candidatos. Esta variación puede ser de cinco unidades, donde el valor máximo es 250.

<sup>3</sup> La binarización consiste en que al plantear un valor de umbral, se les asigna un uno (1) a los valores que están por encima y a los valores menores se les asigna un cero.

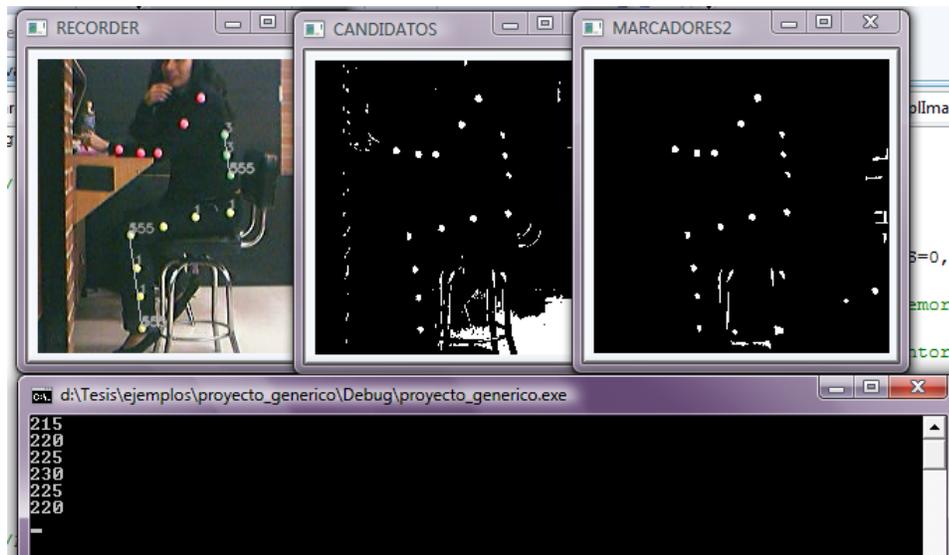


Figura 23. Ejemplo de modificación del umbral inicial.

En el recuadro negro de texto se puede observar el valor actual del umbral.

## 4.5.2. Identificación de marcadores individuales y en grupo

### 4.5.2.1. Identificación de los marcadores

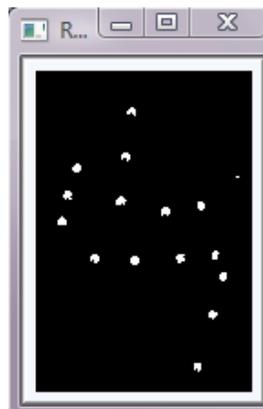


Figura 24. Umbralización inicial de la imagen.

Dentro del programa en este punto se definen los contornos de los candidatos y se delimitan, para posteriormente crear una máscara (plantilla) en la que se conoce la posición exacta de los marcadores, pero aún se tiene un poco de ruido, por ejemplo los lugares donde brilla el asiento, la superficie de la mesa, etc.

A partir de esta máscara es posible delimitar las mismas posiciones de los contornos de los candidatos a marcador dentro del plano HS, obteniendo finalmente los mismos objetos dentro de los diferentes planos.

Posteriormente se mide el área de cada candidato a marcador (mediante la integral del área que encierra cada contorno de los candidatos). De esta forma, mediante un nuevo umbral, se pueden excluir objetos de mayor o menor tamaño que los marcadores. En este punto se conoce el tamaño de cada marcador y su valor promedio dentro de cada contorno en cada plano.

#### 4.5.2.2. Identificación del grupo de marcadores:

Con los diferentes videos de prueba se plantearon ciertos umbrales para cada color dentro de cada plano, promediando los valores mínimos y máximos en los que oscilan.

Luego se crean filtros para cada color a partir de estos umbrales y se descarta el ruido.



Figura 25. Definición de los valores asociados a los marcadores dentro de los componentes (a) H, (b) S, (c) V.

En este punto es necesaria de nuevo la intervención del usuario final, dentro del programa aparece una ventana de barras, las cuales pueden ser modificadas para ajustar los umbrales de los diferentes colores atribuidos a las partes del cuerpo y dentro de cada plano. A partir de esta información es posible unir los tres planos y así determinar finalmente los colores de cada marcador para clasificarlos como pertenecientes a cierto lugar del cuerpo; pierna, tronco o brazo.

Es importante obtener los marcadores individualmente, pero también lo es conocer el comportamiento de cierto grupo, es decir, conocer cuales identifican un brazo, la pierna o el tronco, además de conocer los puntos donde se encuentran las articulaciones.

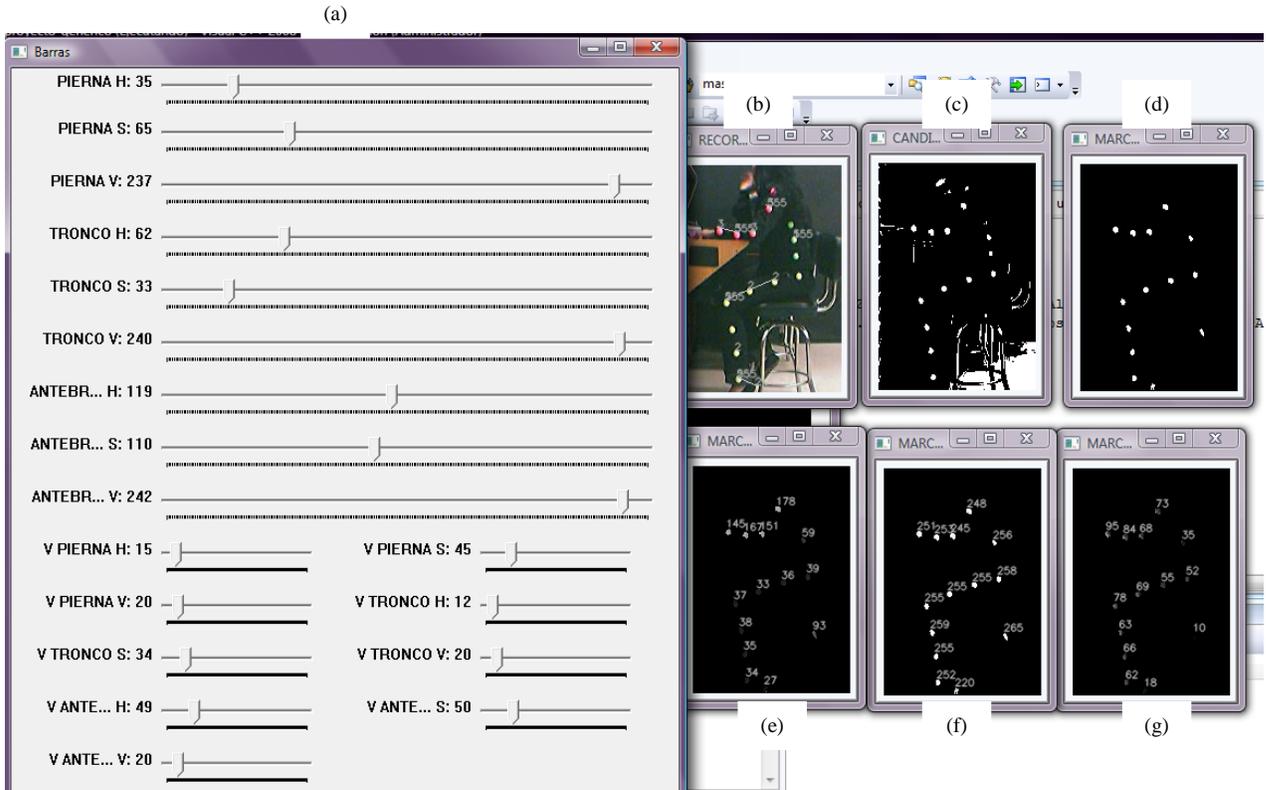


Figura 26. (a) Barras de gestión de umbrales. (b) Ventana de observación de líneas en las diferentes partes del cuerpo. (c) Candidatos a marcador. (d) Candidatos umbralizados. (e) Plano H. (f) Plano S. (g) Plano V.

En la figura 26 se observa la gráfica de barras ajustables. Para el correcto funcionamiento del sistema es necesario que el usuario observe cuidadosamente las ventanas (e), (f) y (g) y obtenga los diferentes valores en los que oscilan los diferentes grupos de marcadores durante mínimo 30 segundos (de acuerdo a las pruebas realizadas), por ejemplo, en la ventana (e) los valores de los marcadores del brazo oscilan entre 145 y 178; el tronco tiene como valor 59 y la pierna valores entre 33 y 39. Esto quiere decir que en la barra de pierna H se tiene un punto medio entre 144 y 178 y un tamaño de ventana (punto medio =  $(\text{tamaño de la ventana})/2 + \text{valor mínimo} = ((178 - 144)/2) + 144 = 161$  donde el tamaño de la ventana está dado por  $\text{valor máximo} - \text{valor mínimo} = 34$ ).

Dentro de la figura de barras se señala entonces en ANTEBRAZOH el valor del punto central, 161 y en V ANTEBRAZO H el tamaño de la ventana, 34. Posteriormente se continúa con las demás partes del cuerpo y con los demás planos, adecuando de esta forma todos los umbrales del sistema.

### 4.5.3. Identificación de los ángulos entre partes y/o referencia

#### 4.5.3.1. Identificación de los ángulos

Conociendo los grupos de marcadores es posible determinar líneas que unen las diferentes partes del cuerpo para luego determinar ángulos de interés. De acuerdo al método REBA [20], los diferentes rangos de ángulos se pueden dividir de la siguiente forma.

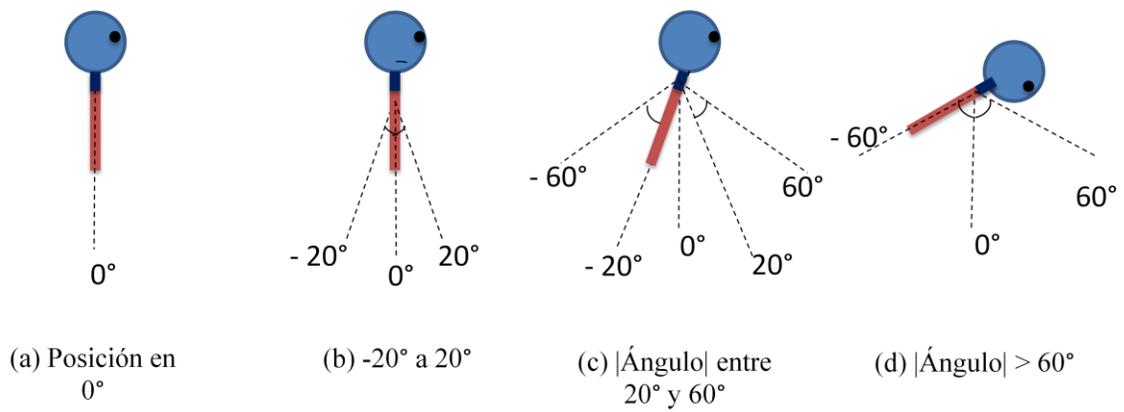


Figura 27. Rangos de posición para el tronco.

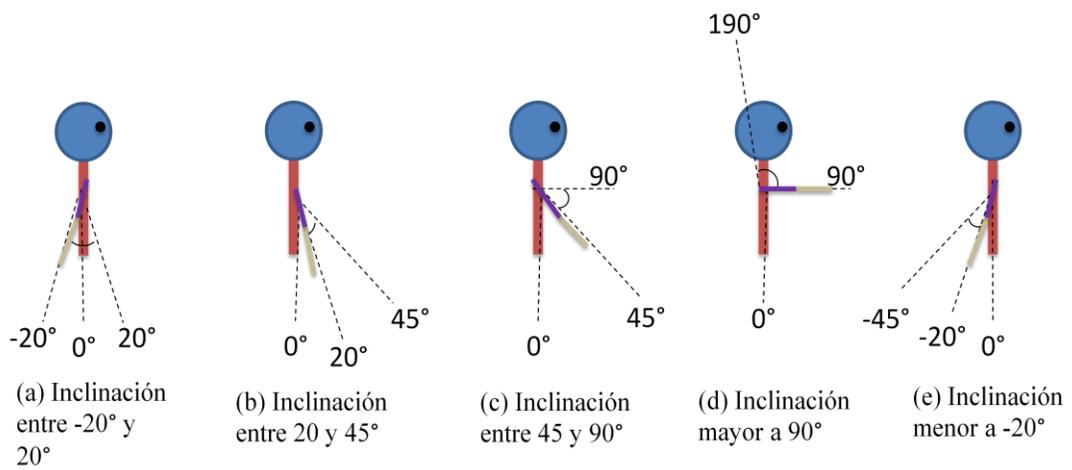


Figura 28. Rangos de posición para el brazo.

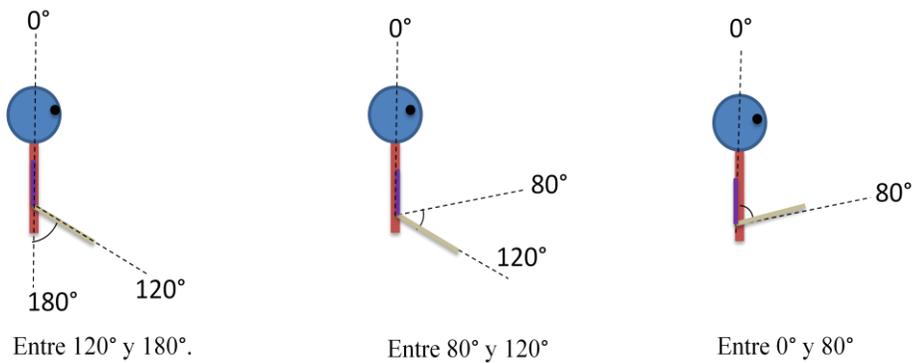


Figura 29. Rangos de ángulos entre brazo y antebrazo.

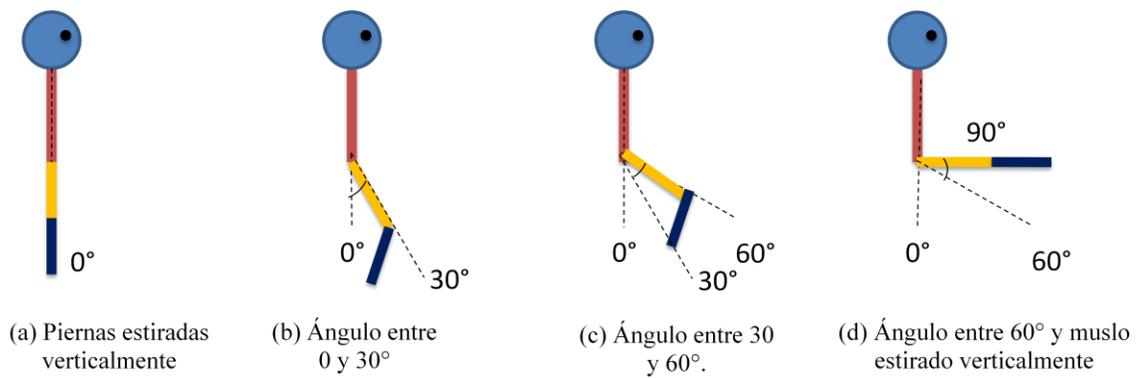


Figura 30. Rangos de ángulos entre la referencia y el muslo.

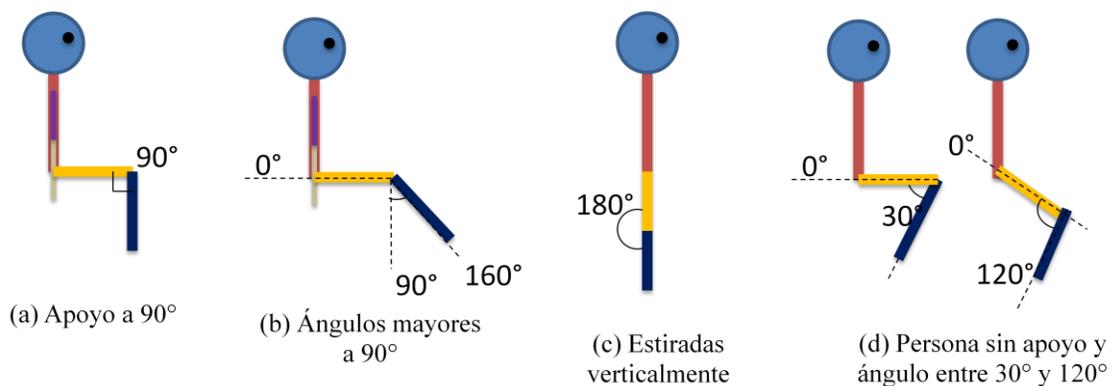


Figura 31. Rangos de ángulos entre el muslo y la pierna.

Dentro del programa se encuentra inicialmente la posición del marcador del tobillo, o en su defecto, el marcador más cercano ubicado a lo largo de la espinilla, para luego encontrar el de la rodilla, como no hay forma de doblar la pierna entre estos dos puntos, se dibuja una línea entre estos dos puntos. Esta línea se conoce como pierna.

Para determinar la línea del muslo se encuentra el marcador de la cadera y se busca y une con el marcador identificable más cercano a la rodilla que pertenezca al área del muslo.

Con estas dos líneas es posible conocer el ángulo que existe entre la referencia y el muslo y también el ángulo que existe entre el muslo y la pierna.

De la misma forma se unen los marcadores del tronco, al ser tres, se busca el que esté en la posición más baja y se une con el que esté en la posición más alta. Igualmente se compara con el vector referencia y se determina su ángulo.

Para el brazo se hallan los puntos del hombro y codo, definiendo la línea que los une como brazo y finalmente se encuentra el lugar del marcador más cercano a la mano y el más cercano al codo sobre el antebrazo y se dibuja la línea entre el codo y la muñeca definiendo el antebrazo.

A partir de estas dos líneas se conocen los ángulos entre la referencia y el brazo y el ángulo entre brazo y antebrazo.

La unión de los diferentes puntos se realiza a partir del primer punto según lo descrito anteriormente; el sistema encuentra el marcador más cercano del mismo tipo y almacena la dirección a la cual está, luego se mueve a ese punto y vuelve a buscar el más cercano sin tener en cuenta el último que buscó y así continúa uniendo puntos de los marcadores de modo que si hay un dobléz no se unen todos los puntos sino que se detiene la búsqueda y se inicia la de otra parte del cuerpo.

Debido a que en un segundo se tienen 25 frames se obtienen 25 ángulos de cada línea, por lo que es necesario encontrar un promedio de ángulos durante cierto tiempo, para este sistema se eligieron promedios de 5 segundos, ya que el ser humano no puede moverse tan rápidamente y generalmente en los laboratorios las personas tampoco se mueven muy rápido en un día normal de trabajo. En caso que este tiempo no se acomode a la velocidad en que se mueve la persona, es posible modificar este tiempo de promedio a menores rangos.

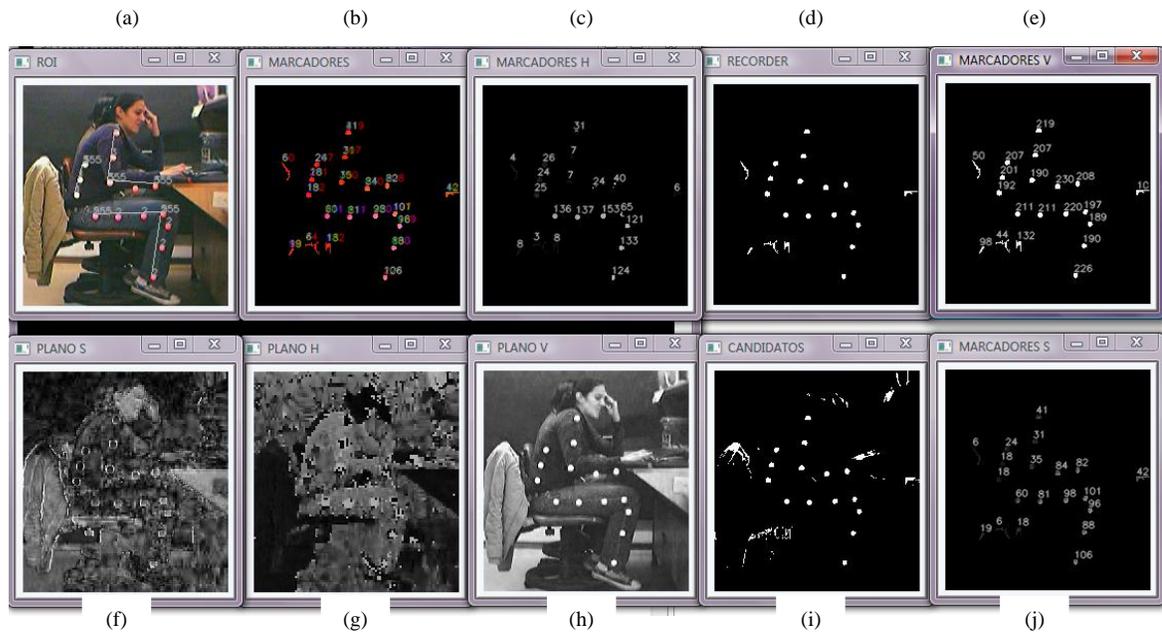


Figura 32. (a) Líneas de unión entre partes. (b) Unión de información de marcadores. (c) Información de marcadores en el plano H. (d) Candidatos a marcador luego de binarización. (e) Información de marcadores en el plano V. (f) Plano S. (g) Plano H. (h) Plano V. (i) Candidatos a marcador. (j) Información de marcadores en el plano S.

#### 4.5.4. Entrega de la información

La información de los ángulos se recopila y se procesa para almacenarla en un archivo de texto. Para entregarla finalmente al usuario, se utiliza el programa EXCEL de Microsoft Office versión 2007.

Es necesario que el usuario confirme la ruta de almacenamiento de la información, para así actualizar los datos del archivo y finalmente se obtienen las gráficas de la Figura 33. Gráficas finales entregadas al usuario. Promedio de los ángulos de las diferentes líneas ubicadas en el tiempo (segundos).

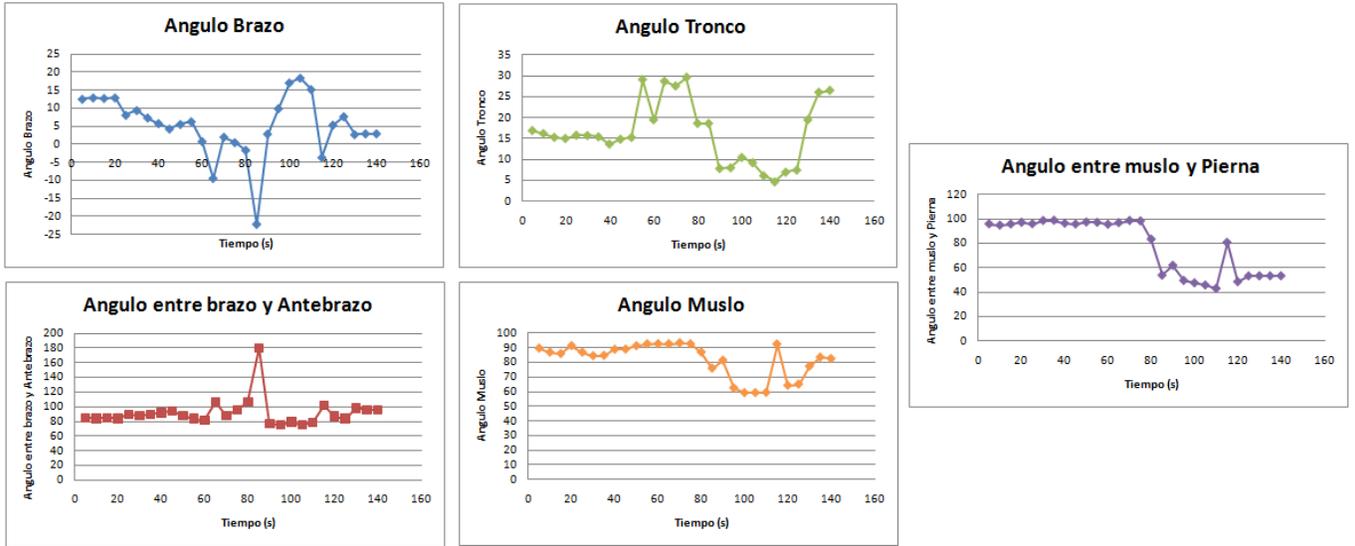


Figura 33. Gráficas finales entregadas al usuario. Promedio de los ángulos de las diferentes líneas ubicadas en el tiempo (segundos).

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante el diseño del sistema se realizaron 96 tomas de video, sobre las cuales se realizaron pruebas y gracias a ellas se definieron las mejores condiciones tanto ambientales como para la cámara.

De acuerdo a lo nombrado en el proceso de elección de marcadores, inicialmente se diseñaron marcadores de dos formas geométricas (cuadrados y circulares) los cuales aportaban buena información pero a medida que la persona gire, estos tienden a perderse dentro de la imagen.

Los marcadores reflectivos eran difíciles de encontrar dentro de la imagen porque sus valores de brillantez son bajos a no ser que se dirija directamente una luz hacia ellos, lo que tiende a ser molesto para la persona que está trabajando; los reflectores producen incomodidad porque generan calor y además la luz puede ser molesta para los ojos.

En el artículo referenciado en [4] se utiliza una “cámara de video digital Sony HDR FX-1, que posee una frecuencia de grabación de 30 cuadros por segundo y soporta un formato de filmación DV” que actualmente tiene un costo de alrededor de \$ 5.046.000, que adicionalmente requiere de una calibración en el espacio que se observará con ayuda de un cubo de calibración (utilizado para conocer la equivalencia de un centímetro en el lugar en pixeles dentro de la imagen), con el que se conocerá la equivalencia de un pixel en centímetros y adicionalmente es necesario realizar un preprocesamiento a la imagen para duplicar la frecuencia de muestreo de la cámara; la cámara web utilizada en la presente investigación tiene un costo de alrededor de \$35.000; no requiere de calibración debido a que se realizan mediciones de ángulos de vectores (por lo que no importa la longitud de estos), mas no se calculan distancias en algún sistema de medición, adicionalmente esto permite unir diferentes puntos dentro de una misma línea en caso de obstrucción de algún marcador del mismo tipo.

También se omite la etapa de preprocesamiento de la imagen debido a que la tasa de muestreo es más que suficiente para la obtención de datos por medio del algoritmo diseñado, ya que la persona bajo observación, de acuerdo a las condiciones normales de trabajo en el laboratorio, no tiene movimientos o cambios de postura tan rápidos que requiera aumentar el número de *frames* por segundo, de esta forma se disminuye considerablemente el tiempo de preparación del espacio en el que se realizarán las diferentes grabaciones y el tiempo de ejecución del algoritmo.

Por otro lado los marcadores utilizados en [4] son reflectivos y están pegados sobre la piel de la persona bajo observación; medio pliego de material reflectivo tiene un costo de alrededor de \$12.000 y las esferas de icopor para recubrirlas \$100 c/u. Adicionalmente se utiliza una fuente de luz colocada alrededor de la cámara direccionada directamente sobre los reflectores, pero no se conoce la referencia o el costo. En la presente investigación no se utilizó ninguna fuente de luz externa a la provista en el lugar.

Para el buen funcionamiento del sistema se eligió el uso de marcadores fosforescentes esféricos por su buen reconocimiento con el algoritmo diseñado y su comodidad para la persona que se encuentra trabajando, un pliego de papel bond fosforescente adhesivo tiene un costo de \$4.000.

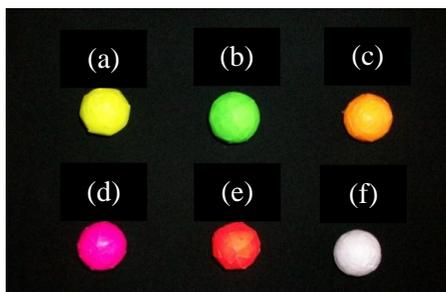


Figura 34. Marcadores. (a) Amarillo; (b) verde; (c) naranja; (d) rosado; (e) sandía; (f) blanco.

Dentro de las 6 opciones de color se eligieron amarillo, verde y rosado. Se descartaron los colores naranja, y sandía por su similitud a nivel de valores dentro de los planos HSV con los colores amarillo y rosado, y el blanco por la posibilidad de confundirse con hojas, libros y demás objetos blancos presentes en los laboratorios. Inicialmente se obtuvieron resultados en los que se confundían los colores amarillo y verde, más que confundirse, contaban con umbrales similares y el sistema tendía a elegir marcadores que no pertenecían a la parte del cuerpo en la que se encontraba, y los ángulos que entregaba al final no eran acordes a la posición en la que se encontraba la parte del cuerpo. Gracias a esto se revisó el sistema y se encontró que se estaban observando valores pertenecientes a los planos RGB (rojo, verde y azul) lo que permitió corregir el algoritmo y obtener mejores resultados con los planos HSV.

La cámara fue ubicada similarmente en todas las tomas realizadas, paralela totalmente al perfil de la persona bajo observación y a una altura alrededor de 120 cm y 4m de distancia. Con estas condiciones fue posible realizar un seguimiento a todos los movimientos de las personas bajo observación y así se obtuvieron los diferentes ángulos entre las diferentes partes del cuerpo, en caso que se encontrara un objeto que obstruyera algún marcador, no se afectaban los resultados porque el sistema identifica al marcador de la misma parte del cuerpo más cercano, manteniendo así la misma línea que finalmente ayuda a registrar el ángulo en que se encuentra dicha parte.

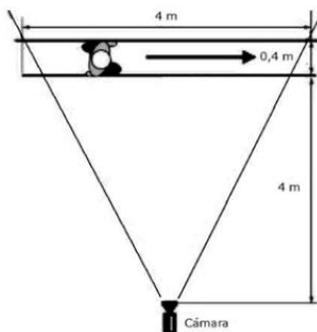


Figura 35. Plano de posición de la cámara [4]

Para la última grabación se obtuvieron 12 videos, en los que se utilizaron las condiciones ambientales nombradas anteriormente que se consideran óptimas para la toma de datos. Entre ellas está la iluminación controlada; el laboratorio no contaba con entradas externas de luz, por lo que las condiciones de iluminación no cambiaron en ningún momento, sólo se requirió el uso de las lámparas fluorescentes ubicadas en el techo del laboratorio que continuamente se encuentran en el lugar, ante esta condición no se presentaron sombras sobre los marcadores lo que implica que las ventanas de oscilación de valores de cada color en cada plano fueron relativamente pequeñas y no se interceptaban, así no se confunde, por ejemplo, el brazo con la pierna, o aún más importante, el tronco con la pierna debido a que los colores tienden a ser similares a simple vista (verde y amarillo).

En la tabla 1, se pueden observar los resultados de dichas tomas, obtenidos manualmente.

TOMA	UMBRAL	PLANO	ROSADO - BRAZO		VERDE - TRONCO		AMARILLO - PIERNA	
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
D:/Videos/Octubre/toma1.avi	200	H	120	180	45	80	25	40
		S	60	120	40	70	35	120
		V	215	255	180	255	240	270
D:/Videos/Octubre/toma2.avi	200	H	100	180	50	80	30	48
		S	40	130	40	80	40	120
		V	140	270	240	270	240	270
D:/Videos/Octubre/toma3.avi	180	H	90	180	50	85	30	50
		S	80	130	45	70	40	90
		V	230	265	230	260	230	270
D:/Videos/Octubre/toma4.avi	180	H	114	180	50	70	25	40
		S	60	110	40	80	30	90
		V	210	260	210	260	230	260
D:/Videos/Octubre/toma5.avi	195	H	90	185	45	75	30	45
		S	70	130	45	70	30	110
		V	240	270	230	270	240	270
D:/Videos/Octubre/toma6.avi	180	H	90	180	50	70	30	45
		S	70	140	40	70	35	130
		V	180	270	220	260	230	260
D:/Videos/Octubre/toma7.avi	200	H	90	180	55	85	30	55
		S	70	120	40	60	40	90
		V	230	270	240	270	230	270
D:/Videos/Octubre/toma8.avi	185	H	80	180	45	70	25	45
		S	80	120	40	70	25	120
		V	230	260	170	250	230	260
D:/Videos/Octubre/toma9.avi	190	H	90	180	45	70	30	45
		S	80	120	40	70	40	90
		V	210	260	180	260	190	260
D:/Videos/Octubre/toma10.avi	210	H	90	180	45	70	30	45
		S	70	110	30	60	40	80
		V	240	260	185	270	230	270
D:/Videos/Octubre/toma11.avi	185	H	90	190	45	70	30	45
		S	80	130	40	70	40	90
		V	230	250	170	250	170	260
D:/Videos/Octubre/toma12.avi	185	H	80	180	45	70	30	45
		S	70	130	35	70	45	80
		V	200	260	200	260	210	260
PROMEDIO	190,833	H	93,667	181,250	47,500	74,583	28,750	45,667
		S	69,167	124,167	39,583	70,000	36,667	100,833
		V	212,917	262,500	204,583	261,250	222,500	265,000
MÁXIMO Y MÍNIMO	180,000	H	80,000	190,000	45,000	85,000	25,000	50,000
		S	40,000	140,000	30,000	80,000	25,000	130,000
		V	140,000	270,000	170,000	270,000	170,000	270,000

Tabla 1. Valores en los que oscilan los umbrales de los colores de los marcadores dentro de los planos HSV

Se puede encontrar que los valores en que oscilan los marcadores amarillos y verdes son similares pero igualmente se pueden diferenciar aplicando los umbrales sin afectar los resultados.

Las gráficas de los planos resultantes obtenidos en la Tabla 1. Valores en los que oscilan los umbrales de los colores de los marcadores dentro de los planos HSV, se pueden observar en las figuras 36, 37 y 38.

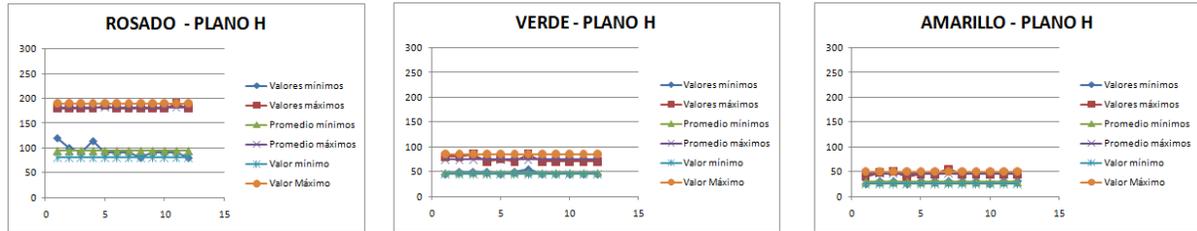


Figura 36. Resultados de umbrales plano H

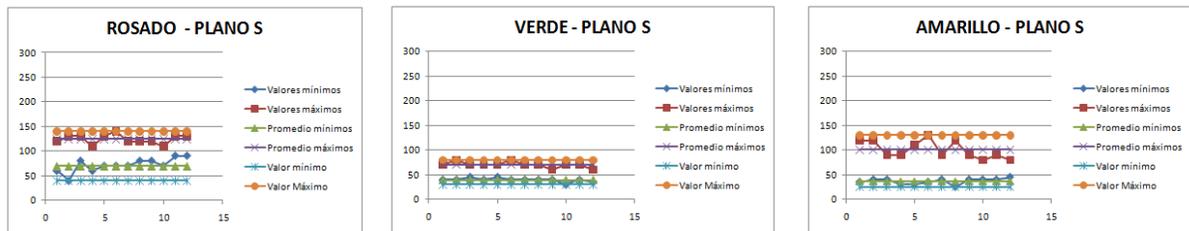


Figura 37. Resultados de umbrales plano S

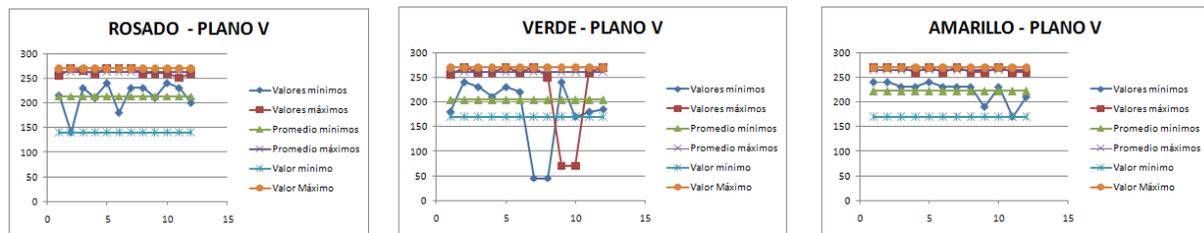


Figura 38. Resultados de umbrales plano V

De acuerdo a estos resultados se puede observar que dentro del plano H se pueden diferenciar de mejor forma los marcadores, los rosados tienen valores muy diferentes a los demás, pero los amarillos y verdes tienen valores muy cercanos por lo que es necesario tener cuidado al momento de definir el tamaño de la ventana de los umbrales de valores posibles y tener en cuenta que no se deben sobreponer porque así se evita que el sistema detecte un marcador erróneo, es decir, no se confunda un marcador del tronco con uno de la pierna.

En los planos S y V se obtienen valores muy similares para los tres planos, pero gracias a su elección es posible disminuir el error detectado en los valores del plano H.

Finalmente se hace entrega de las gráficas representadas en la figura 39, la cual puede ser utilizada en un estudio ergonómico como fuente de información de cambio de postura de una persona mientras trabaja en un lugar cerrado y en posición sedante.

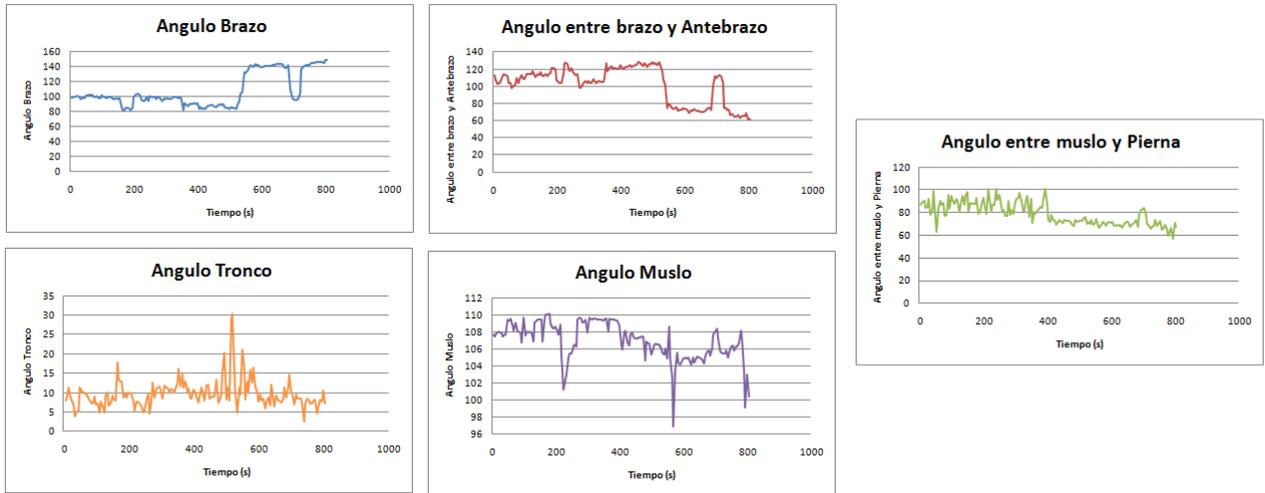


Figura 39. Gráficas resultantes de la variación de los ángulos a lo largo del tiempo de grabación (en segundos)

El costo total del sistema está dado en la Tabla 2. Tabla de costos de los elementos utilizados en el sistema

ELEMENTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Esferas de icopor de 3cm de diámetro.	15	\$ 100	\$ 1.500
Cinta doble faz	1	\$ 2.000	\$ 2.000
Papel bond	3 pliegos	\$ 4.000	\$ 12.000
Cartulina negra	6	\$ 1.200	\$ 7.200
Cámara Genius Webcam	1	\$ 35.000	\$ 35.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 57.700</b>

Tabla 2. Tabla de costos de los elementos utilizados en el sistema

\* No fue necesaria la compra de equipos de computación o de licencias, debido a que ya se contaba con estos elementos, cabe recordar que la biblioteca OpenCV es libre y es suficiente el uso del demo de Visual Studio que se puede encontrar en la página oficial de Windows.

## **6. CONCLUSIONES**

### **6.1. Conclusiones de la metodología**

De acuerdo a la metodología utilizada se puede concluir que las pruebas realizadas ayudan a determinar las condiciones ambientales necesarias para obtener unos buenos resultados. Además la cámara es de muy bajo precio y a pesar de no tener una muy alta resolución, brinda información suficiente para entregar al usuario, preferiblemente una persona que realiza estudios ergonómicos, respecto a las variaciones de los ángulos de las diferentes partes del cuerpo.

También se pudo constatar que el laboratorio cuenta con buenas fuentes de luz, pero es importante tener en cuenta los casos en que existe la incidencia de una luz externa, ya que se puede saturar la cámara, además este inconveniente no suele ser constante. En nuevos trabajos se podría filtrar fuentes de luz externas o acondicionar al sistema para que sea más robusto ante una variación en la iluminación, y se minimice el efecto sobre los resultados.

El sistema es robusto en cuanto al cambio de la persona bajo observación, ya que este cambio hace que varíen las distancias entre marcadores, pero para el sistema lo importante es encontrar los marcadores y a partir de ellos se dibujan las líneas de unión con las que se construye el modelo de la persona.

Cabe anotar nuevamente que los marcadores elegidos no requieren fuentes externas de luz, lo que le brinda mayor comodidad a la persona bajo observación. Adicionalmente, permiten que los sujetos del estudio puedan continuar con sus actividades normales sin sentirse incómodos, aún por períodos largos. En trabajos futuros se puede analizar la posibilidad de no utilizar marcadores para determinar los ángulos.

### **6.2. Conclusiones de resultados**

El sistema requiere elementos de bajo costo y los resultados se obtienen automáticamente a partir del video.

Los resultados se revisaron comparando la tabla de datos que entrega el sistema con las diferentes grabaciones, de forma que por medio de observación, se comprobó que eran similares; en los casos en que se encontraban errores se colocaron nuevas condiciones dentro del código del sistema para evitarlo al menos minimizar esos errores.

A futuro es posible mejorar las condiciones que se han puesto dentro del código del algoritmo, por ejemplo, en los casos que interviene un objeto externo brillante de color similar a uno de los marcadores, el sistema lo toma como parte del cuerpo y crea una línea con este punto, de esta forma se genera error en la medición y afecta al promedio del ángulo de la parte que se hace cada 5 segundos. Por otra parte, sería un buen aporte ampliar los rangos de movimiento de la persona bajo observación, como lo son posiciones de pie y con las extremidades totalmente estiradas o también casos en que existan movimientos muy rápidos, como los que se presentan en las fábricas.

### **6.3. Desarrollo de un algoritmo de extracción de información ergonómica, usando visión por computador**

De acuerdo a las características del uso de visión por computador y del algoritmo diseñado, el personal de ergonomía ahorra grandes cantidades de tiempo invertido actualmente en observación, ya que con una pequeña intervención de pocos minutos, por parte del observador, el sistema puede quedarse trabajando por largos períodos de tiempo, que pueden ser mayores a una jornada laboral (10 horas). Además, a futuro

se pueden crear umbrales dinámicos, que disminuyen aún más la intervención de un usuario externo dentro de este proceso porque varían según las condiciones ambientales.

A futuro es posible diseñar el sistema con otras condiciones de equipo, por ejemplo, se puede utilizar la información que brindan las cámaras de seguridad, ya que estas intervienen aún menos en el desarrollo de la actividad de trabajo. También es posible crear un código de colores para los marcadores, disminuir su tamaño, analizar otras formas, probar nuevos materiales y nuevos colores.

#### 6.4. Parámetros ergonómicos que se pueden extraer usando visión por computador

Con las gráficas finales es posible calcular si la persona, con las posturas que está adquiriendo a lo largo de un día de trabajo, puede llegar a sufrir de algún tipo de lesión y encontrar dónde se puede encontrar el problema de adecuación del cuerpo humano a su entorno, puede que la altura de las sillas no sea adecuada, o la altura de las mesas, las mismas costumbres posturales de la persona, entre otros. En la tabla 3 se puede encontrar un consolidado de las características de postura de acuerdo a los rangos de ángulos utilizados en el método ergonómico REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) en el que se busca “suministrar un sistema de puntuación para la actividad muscular debida a posturas estáticas (segmento corporal o una parte del cuerpo), dinámicas (acciones repetidas, por ejemplo repeticiones superiores a 4 veces/minuto, excepto andar), inestables o por cambios rápidos de la postura” [20].

TIEMPO	NIVEL DE RIESGO	INFORMACIÓN DE REFERENCIA					
		REF - TRONCO	REF - BRAZO	BRAZO - ANTEBRAZO	REF - MUSLO	MUSLO - PIERNA	
						CON APOYO	SIN APOYO
> 5 Minutos	1	0°	Entre -20° y 20°	Entre 120° y 180°	0°	90°	-
3 - 5 minutos	2	Entre 0° y -20°	Entre 20° y 45°	Entre 80° y 120°	Entre 0° y 30°	> 90°	180°
1 - 3 minutos	3	Entre -20° y -60°	Entre 45° y 90°	Entre 0° y 80°	Entre 30° y 60°	-	Entre 30° y 120°
< 1 minuto	4	> 60°	> 90°	-	Entre 60° y 90°	-	-
Muy corto	5	-	< -20°	-	-	-	-

Tabla 3. Resumen de los niveles de riesgo para los diferentes rangos de ángulos del cuerpo según el método ergonómico REBA.

A futuro se puede crear un sistema más robusto que entregue mayor información de los movimientos de las personas mientras trabajan, por ejemplo, medidas exactas, análisis de comportamiento por medio de grabaciones de video, aumentar el número de personas que se observan durante un período de tiempo y análisis de movimiento en deportes.

#### 6.5. Propuesta de una posición de la cámara en relación con la escena que sea adecuada para cada parámetro propuesto.

De acuerdo a las pruebas realizadas, es recomendable colocar la cámara perpendicular al perfil de la persona bajo observación, a una distancia de alrededor de 4m y a una altura aproximada de 1.2m. Estas medidas permiten que se pueda observar todo el tiempo a la persona mientras se encuentra sentada trabajando y así obtener la información de sus movimientos.

Se puede concluir en este caso que la posición de la cámara afecta totalmente al sistema y es necesario tener mucho cuidado al momento de ubicarla, cabe repetir que es de suma importancia que se encuentre totalmente perpendicular al perfil de la persona bajo observación para permitir el mejor funcionamiento del sistema, de lo contrario se pueden perder los marcadores en el momento en que la persona gire, y el sistema no podrá identificar las diferentes partes del cuerpo y no se pueden obtener los ángulos de interés.

A futuro es posible el uso de múltiples cámaras en otras ubicaciones, y si se desea, calibrarla de forma que se tome información del tamaño de la persona y se pueda identificar cada parte del cuerpo para implementar un método ergonómico más robusto.

#### **6.6. Otras conclusiones**

Dentro de la misma área es posible desarrollar el trabajo con otras mejoras, como el uso de otro tipo de marcadores, materiales, tamaños, en otros casos se puede evitar el uso de los marcadores; igualmente es posible su uso en otros espacios, como oficinas o fábricas. En el algoritmo es posible mejorar los umbrales y hacerlos dinámicos.

Adicionalmente este trabajo, con pequeñas modificaciones, puede ser útil para otras áreas, como el conteo de elementos, separándolos por color, etc.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Osama MASOUD and Nikos PAPANIKOLOPOULOS, "A Method For Human Action Recognition", Oct. de 2006.
- [2] F. Javier LLANEZA ÁLVAREZ, Ergonomía y psicología aplicada: Manual para la formación del especialista., Oct 2009.
- [3] Thomas B. MOESLUND, Adrian HILTON, and Volker KRUGER, A survey of advances in vision-based human motion capture and analysis, 2001 y 2006.
- [4] C. A. DÍAZ, A. TORRES, J. I. RAMÍREZ, L. F. GARCÍA, and N. ÁLVAREZ, Descripción de un dispositivo destinado al análisis de la marcha en dos dimensiones, CineMED., Junio 2006.
- [5] Kushal VAGHANI, Real-Time Human Body Tracking in Public Spaces, 2004.
- [6] Sitapa RUJIKIETGUMJORN, Segmentation methods for multiple body parts, Julio 31 de 2008.
- [7] Nobuyuki OTSU, A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, 1979.
- [8] Francisco Gabriel ORTIZ ZAMORA, Fundamentos de morfología matemática, 2002.
- [9] Technical Services Department, CIE L\*a\*b Color Space, 2008.
- [10] C. BREGLER and J. MALIK, Tracking People with Twists and Exponential Maps., Junio de 1998.
- [11] K. ROHR, Incremental Recognition of Pedestrians from Image Sequences., 1993.
- [12] Greg WELCH and Gary BISHOP, An Introduction to the Kalman Filter, 2006.
- [13] H. SIDENBLADH, M.J. BLACK, and D.J. FLEET, Stochastic Tracking of 3-D Human Figures from 2-D Image Motion, 2000.
- [14] Sangho PARK and J.K. AGGARWAL, Segmentation and Tracking of Interacting Human Body Parts under Occlusion and Shadowing, Diciembre de 2002.
- [15] Gary BRADSKI and Adrian KAEHLER, *Learning OpenCV. Computer Vision with the OpenCV Library*. Sebastopol: O'reilly, 2008.
- [16] Javier SAMPEDRO, Mxii Tesina Ergonomia Javier Sampedro n52, Oct. 28, 2010.
- [17] Carl J. PAYTON, Biomechanical Evaluation Of Movement In Sport And Exercise, 2008.
- [18] Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito Facultad de Ingeniería Industrial, ILUMINACIÓN. Protocolo, 2008.

- [19] A. BRAIDOT, L. Cian, A. Cherni z, and D. y Spinetto , J. Gallardo, Desarrollo de sistema de videografía digital para análisis de la marcha, 2001.
- [20] Carlos SLEMENSON, Evaluación de las condiciones de trabajo: carga postural. Método REBA (Rapid Entire Body Assessment), 2007.
- [21] Óscar DE PEDRO GONZALEZ and Miguel Á. GÓMEZ FERNÁNDEZ, Ergonomía 4 - El trabajo en oficinas, 2001.

## 8. ANEXOS

### ANEXO 1. GRÁFICAS DE RESULTADOS DE LAS 12 TOMAS FINALES

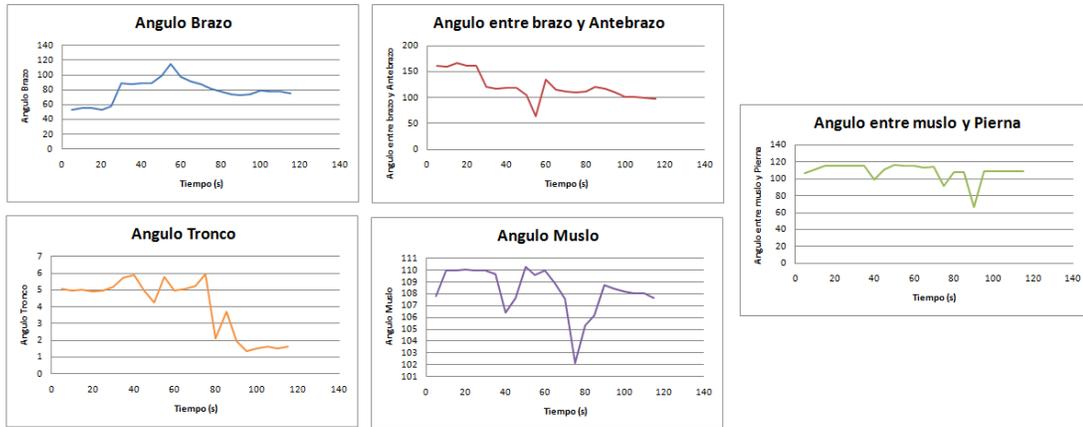


Figura 40. Resultados toma 1.

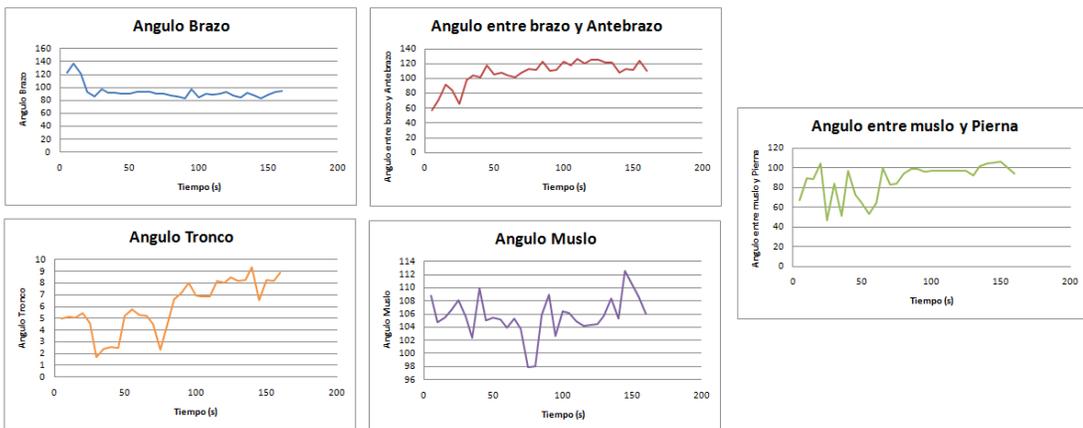


Figura 41. Resultados toma 2.

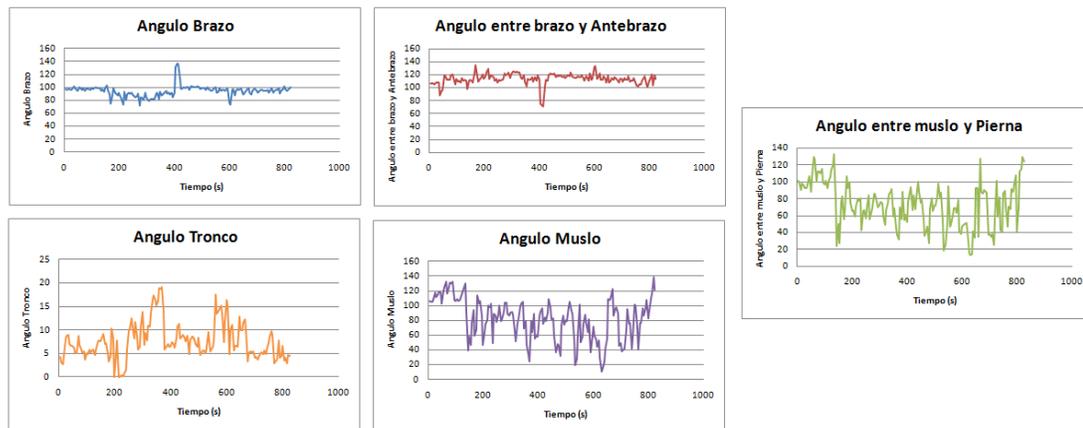


Figura 42. Resultados toma 3.

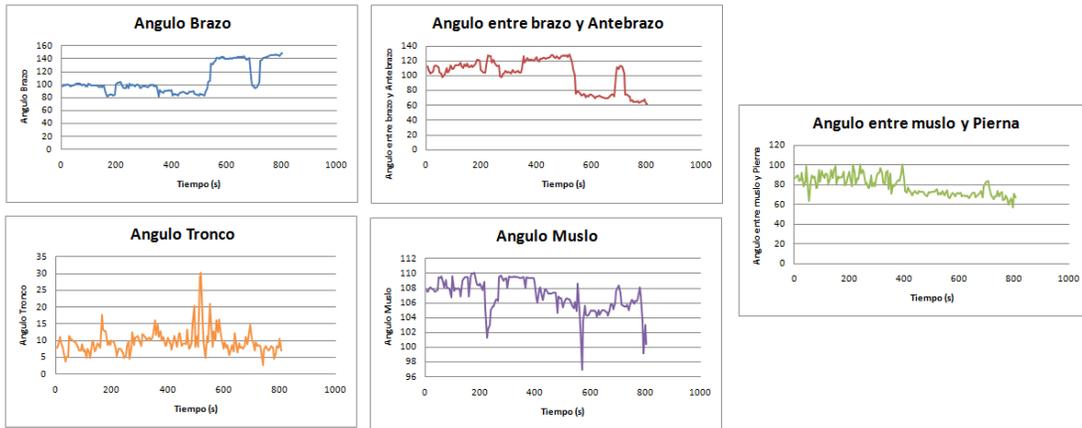


Figura 43. Resultados toma 4.

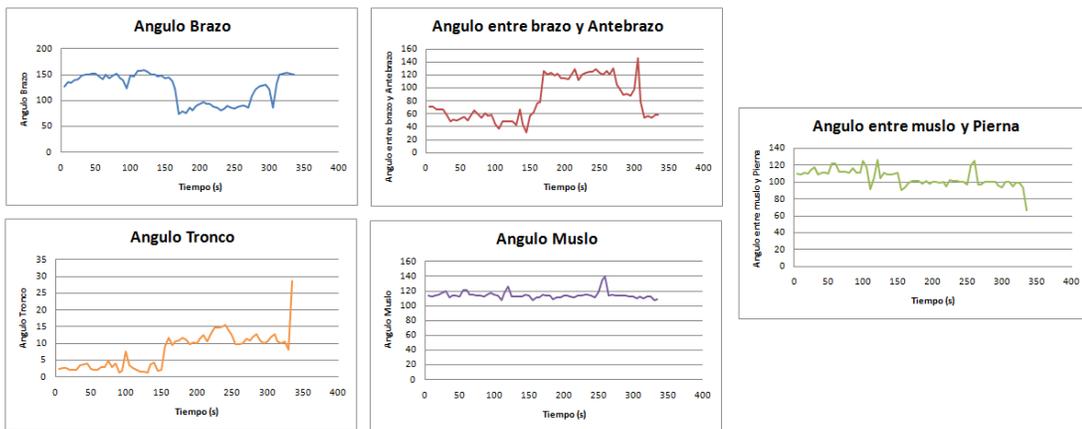


Figura 44. Resultados toma 5.

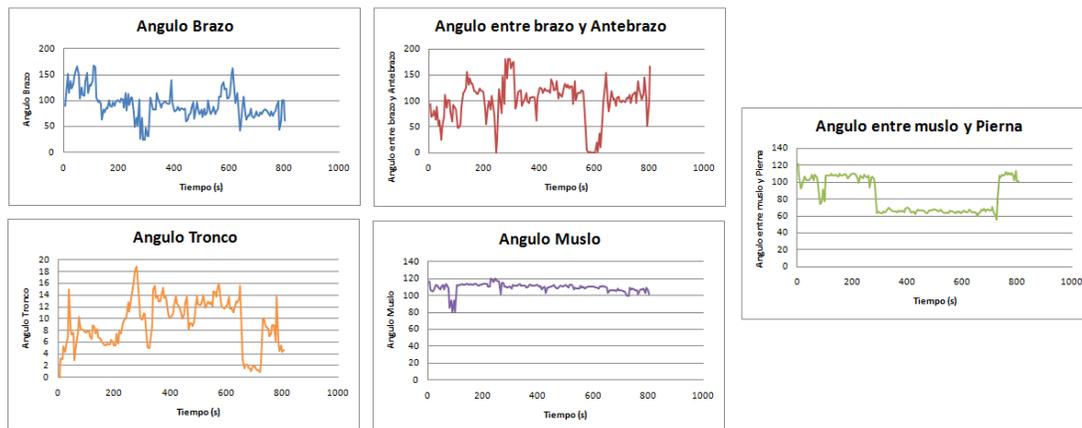


Figura 45. Resultados toma 6.

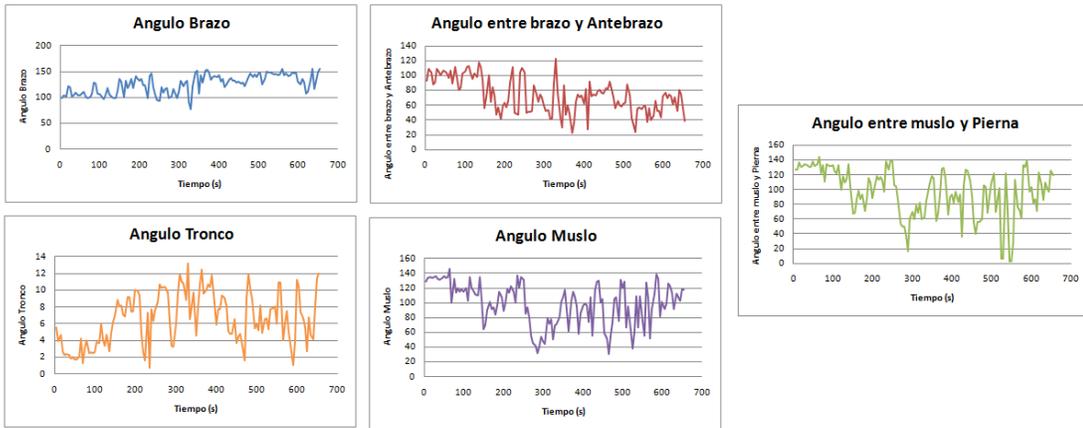


Figura 46. Resultados toma 7.

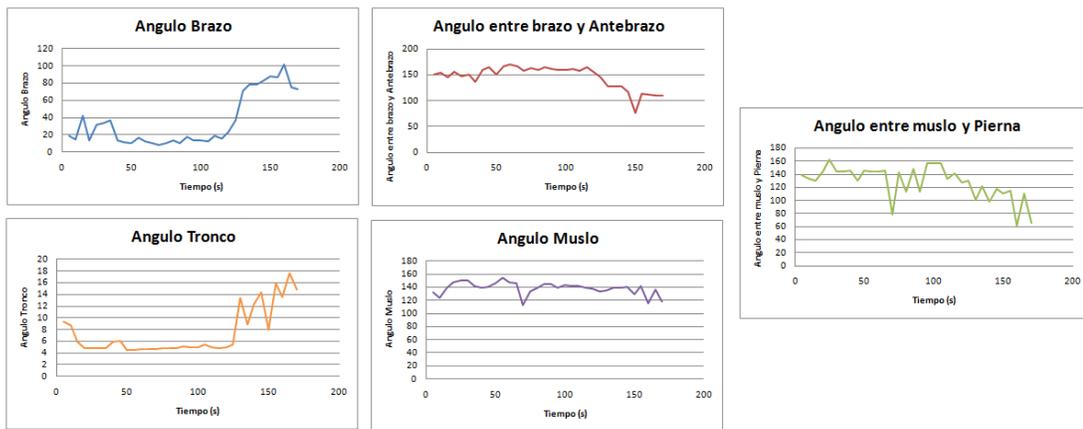


Figura 47. Resultados toma 8.

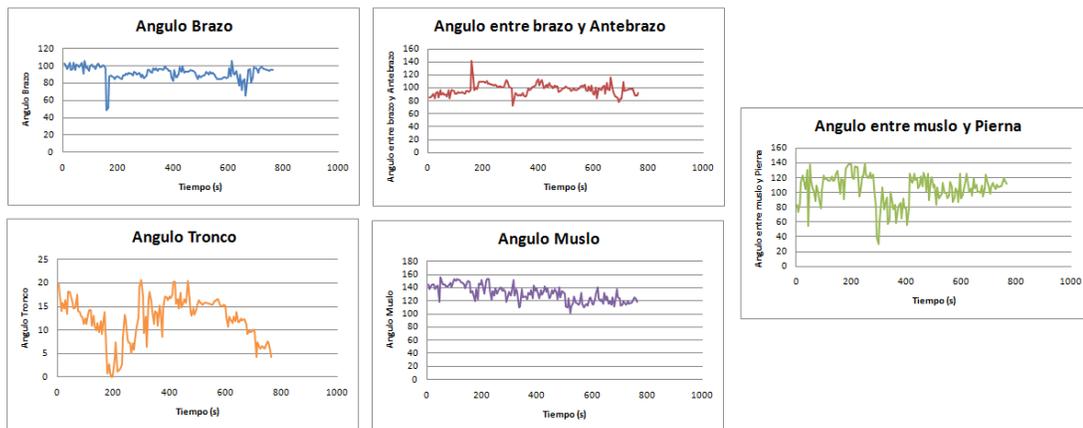


Figura 48. Resultados toma 9.

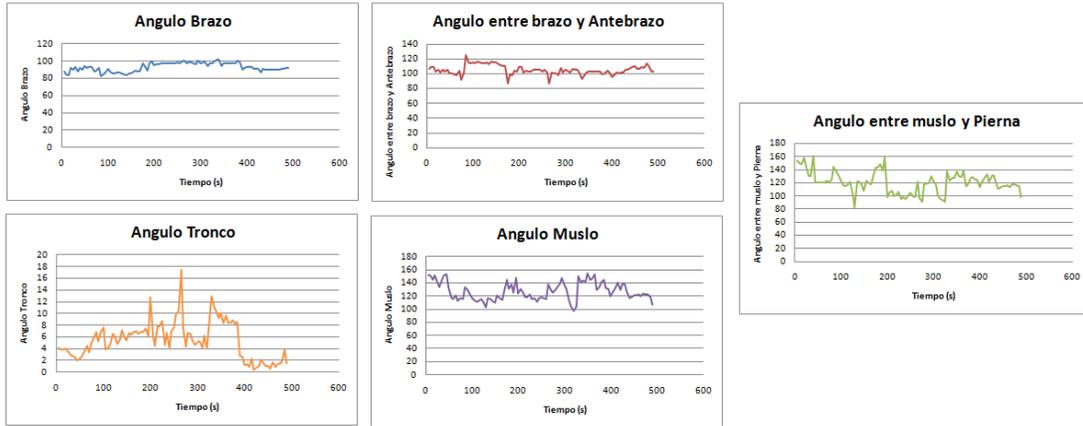


Figura 49. Resultados toma 10.

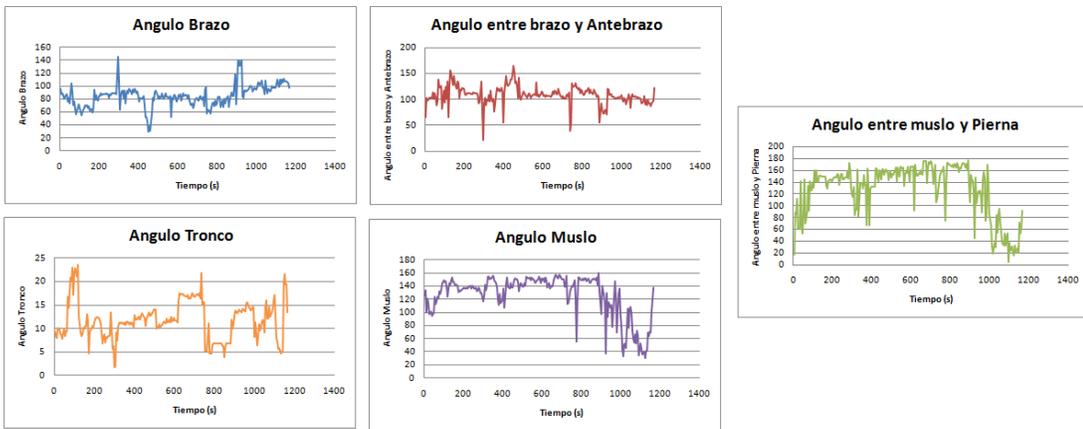


Figura 50. Resultados toma 11.

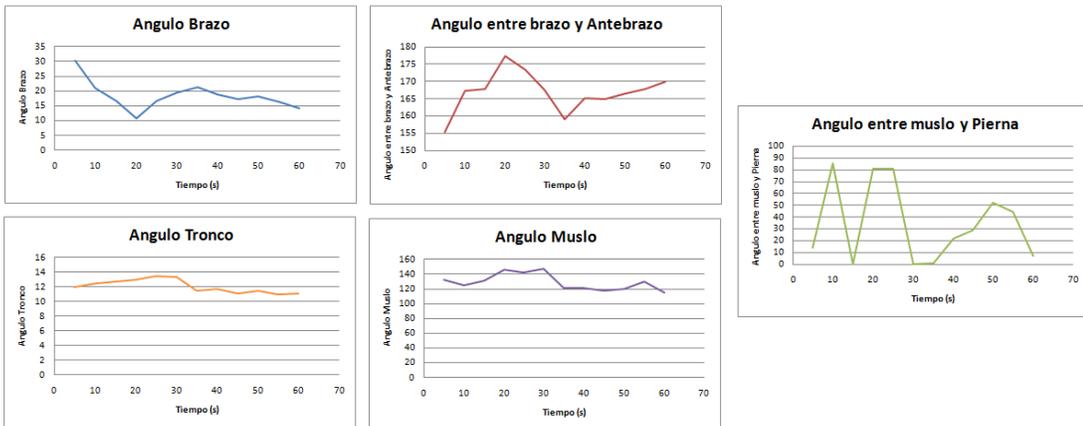


Figura 51. Resultados toma 12.