

# *Sistema de procesamiento de imágenes aplicado al entrenamiento deportivo*

*Federico Cristina*

*Sebastián H. Dapoto*

*Directora: Claudia Russo*

*Facultad de Informática*

*Universidad Nacional de La Plata*

# Contenido

- Introducción: motivación y requerimientos
- Analisis previo y aspectos a contemplar
- Calibración de cámaras
- Procesamiento de la trayectoria de un tiro
  
- Cálculo de velocidad de rotación de la pelota
- Entorno de visualización de tiros
- Pruebas realizadas y resultados obtenidos
- Conclusiones y proyecciones a futuro

# Introducción

## Motivación

- Las sesiones de entrenamiento son imprescindibles en toda disciplina deportiva.
- El uso de tecnología puede **aumentar la capacidad de aprendizaje** de los entrenandos, y **facilitar la enseñanza** a los entrenadores.
- El procesamiento digital de video permite **potenciar el entrenamiento**, mediante la exposición inmediata de los resultados, con información y gráficos detallados y acordes a los requerimientos.

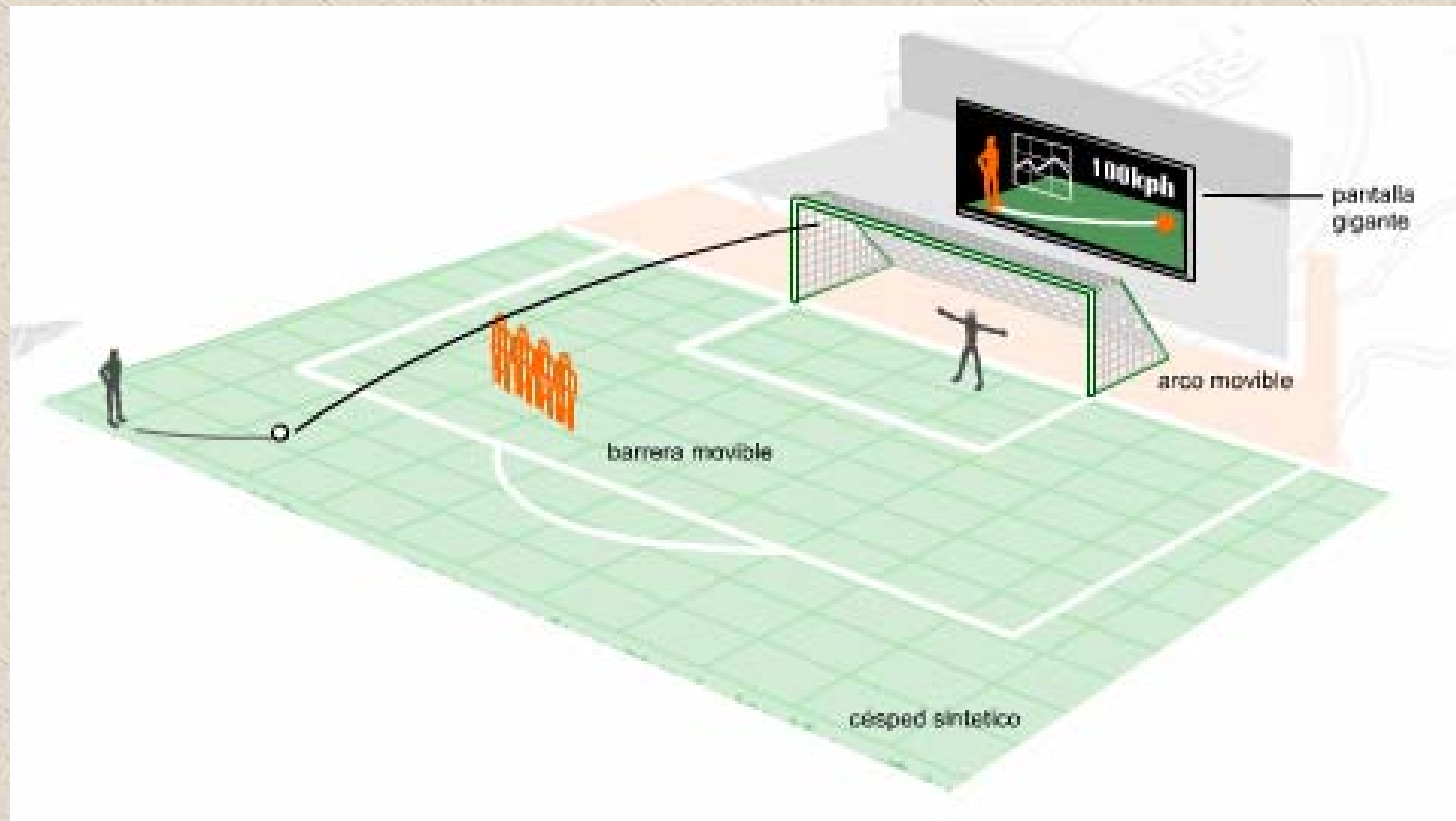
## Objetivo

- Desarrollar un sistema de entrenamiento que permita **mejorar la técnica** de los deportistas mediante el uso de procesamiento digital de imágenes y video.
- El mismo intenta facilitar el aprendizaje basado en la disminución de la carga cognitiva mediante técnicas visuales.

# Introducción

## Requerimientos

Desarrollar un sistema que permita procesar videos de tiros libres para obtener y generar información numérica y visual de los mismos.



# Introducción

## Información numérica

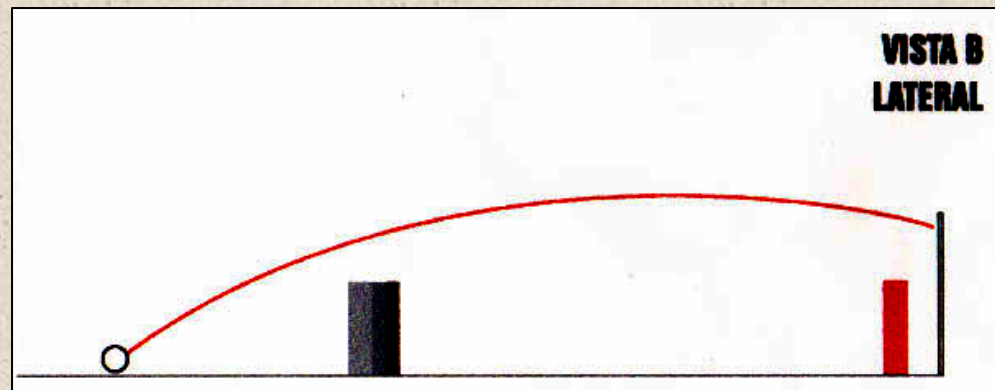
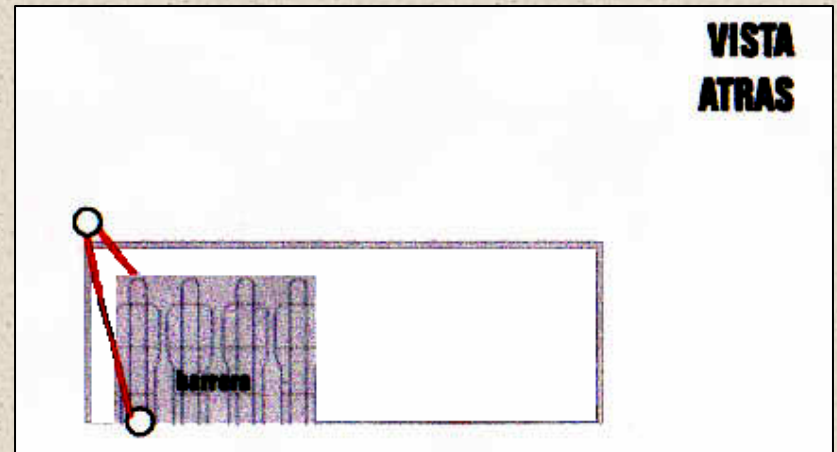
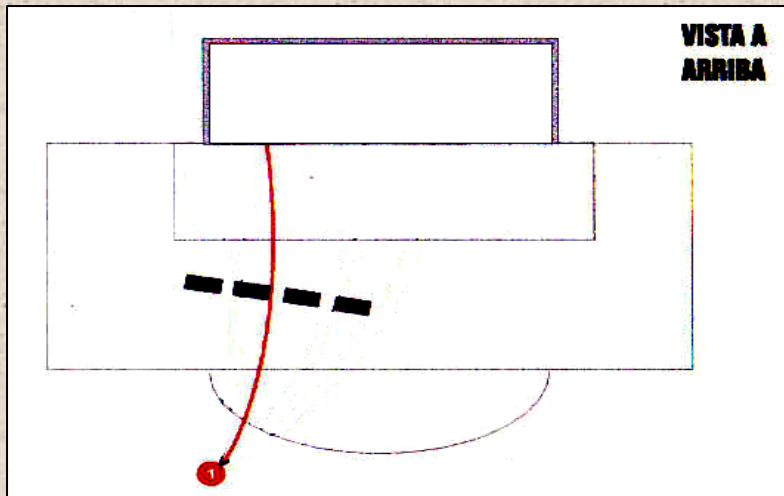
- Aceleración inicial de la pelota.
- Velocidades punto a punto.
- Velocidad promedio.
- Altura máxima que toma la pelota.
- Posición espacial de la pelota a lo largo del recorrido.
- Velocidad de rotación de la pelota.



# Introducción

## Información visual

Renderizar en pantalla la trayectoria que efectúa la pelota a lo largo del recorrido hacia la línea de meta, desde diferentes vistas carentes de perspectiva.



# Aspectos a Contemplar

## Hardware

- Características que deberán poseer las cámaras:
  - Cuadros por segundo.
  - Resolución.
  - Tiempo de exposición.
  - Interfaz física de comunicación.
- Características que deberán poseer las lentes:
  - Apertura del diafragma.
  - Distancia focal.

# Aspectos a Contemplar

## Software

- Detección del objeto:
  - Color y etiquetado de la pelota.
  - Filtrado de la pelota en las imágenes.
- Estereovisión:
  - Ubicación óptima de las cámaras.
  - Calibración de cámaras.
  - Triangulación del objeto: determinación de la ubicación de la pelota
- Cálculo de la velocidad de rotación de la pelota.
- Utilización de librerías de Visión por Computadora: OpenCV.



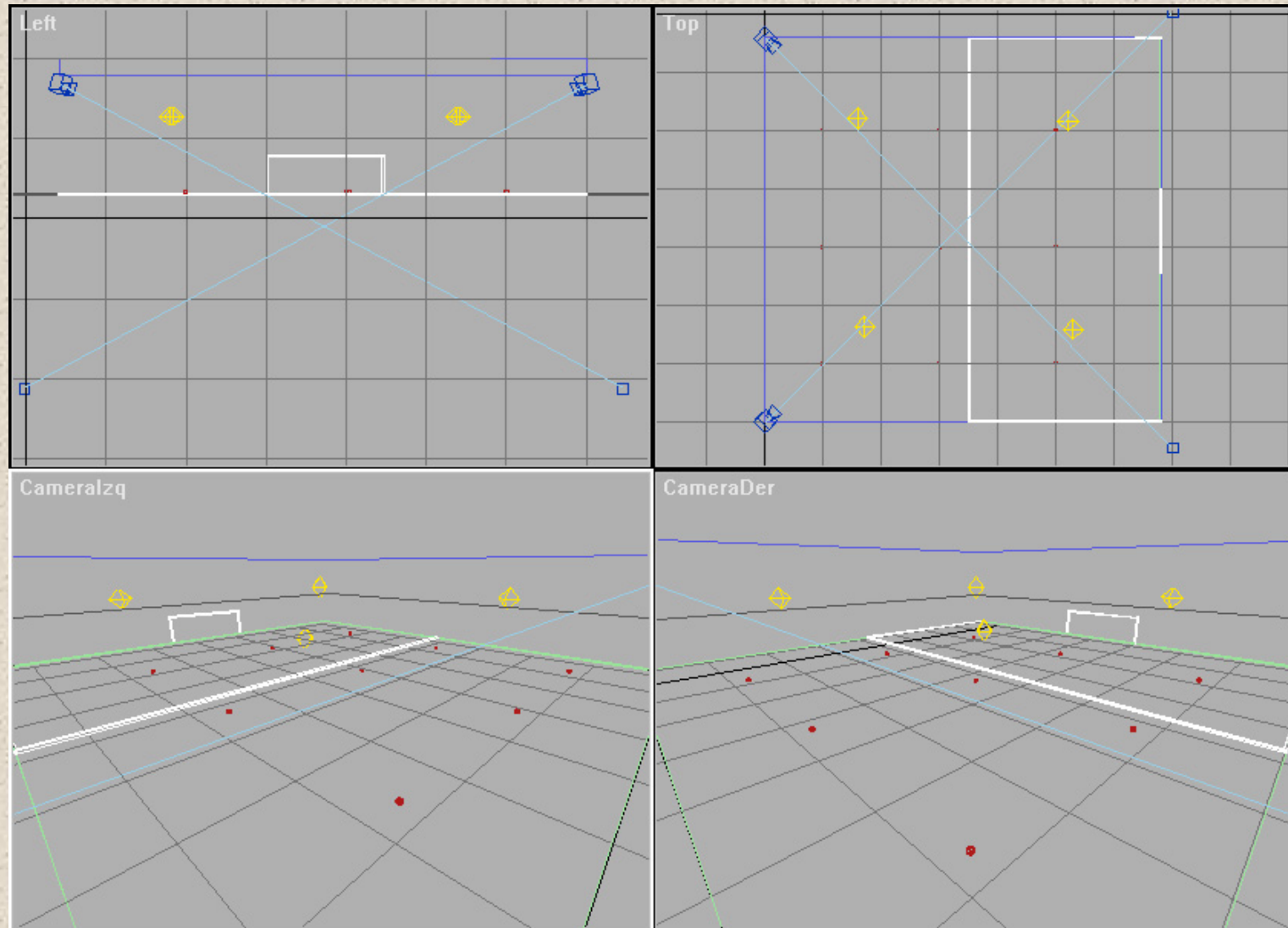
# Análisis Previo



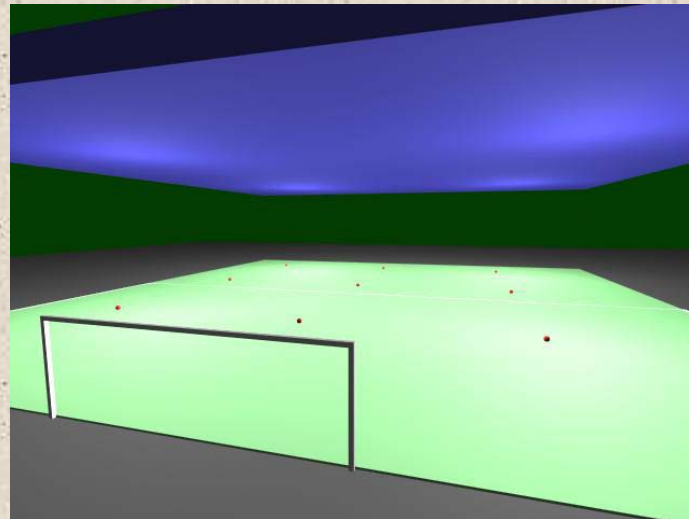
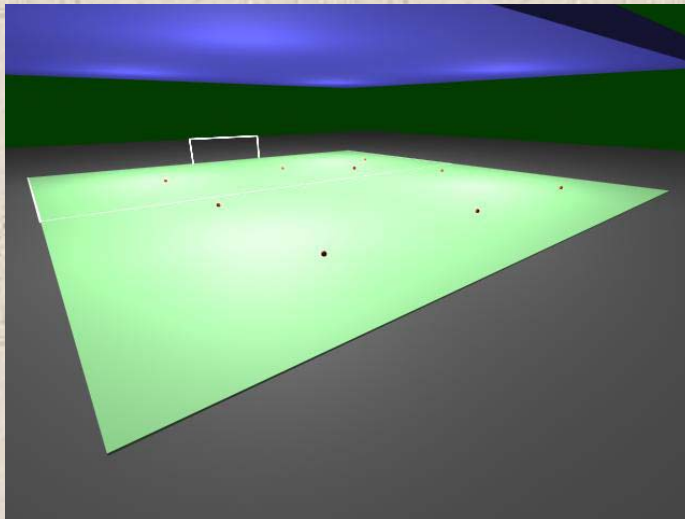
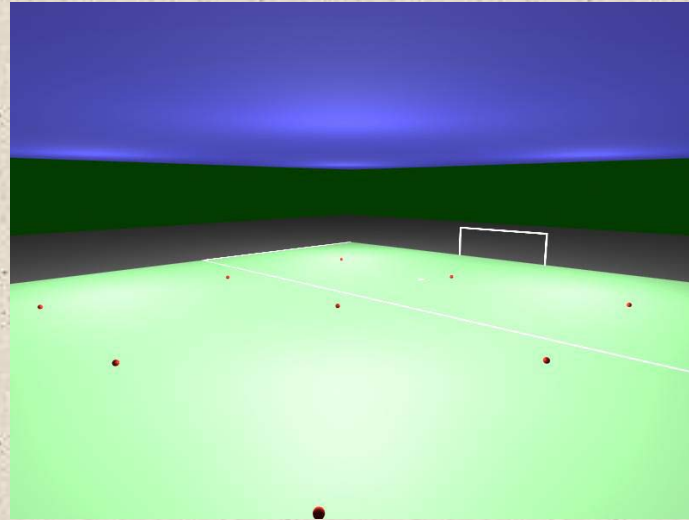
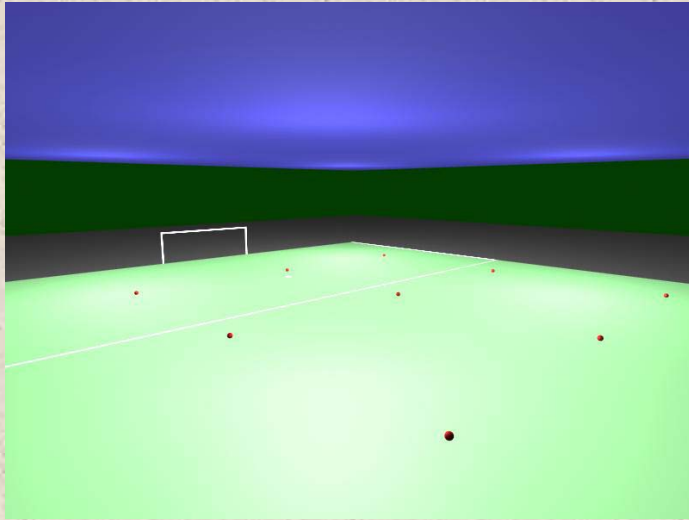
Se llevó a cabo un estudio de viabilidad a fin de determinar las especificaciones mínimas que debían cumplimentar las cámaras:

Resolución, FPS, Distancia Focal, Etc.

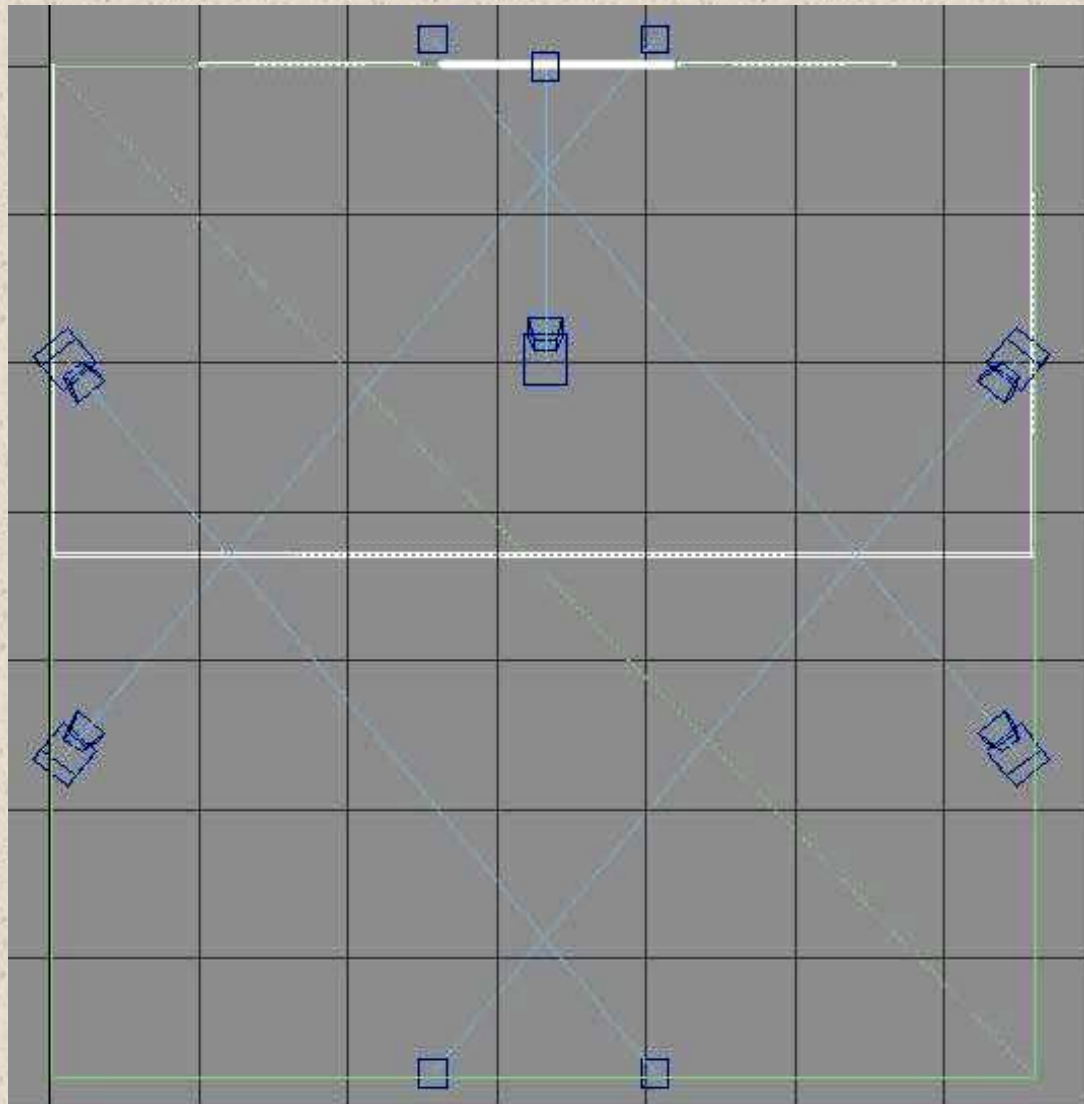
# Análisis Previo - Maqueta Virtual



# Análisis Previo - Maqueta Virtual



# Disposición de Cámaras



## Trayectoria:

4 Cámaras

(2 Sistemas Estereo)

1º Sistema: Inicio del Tiro

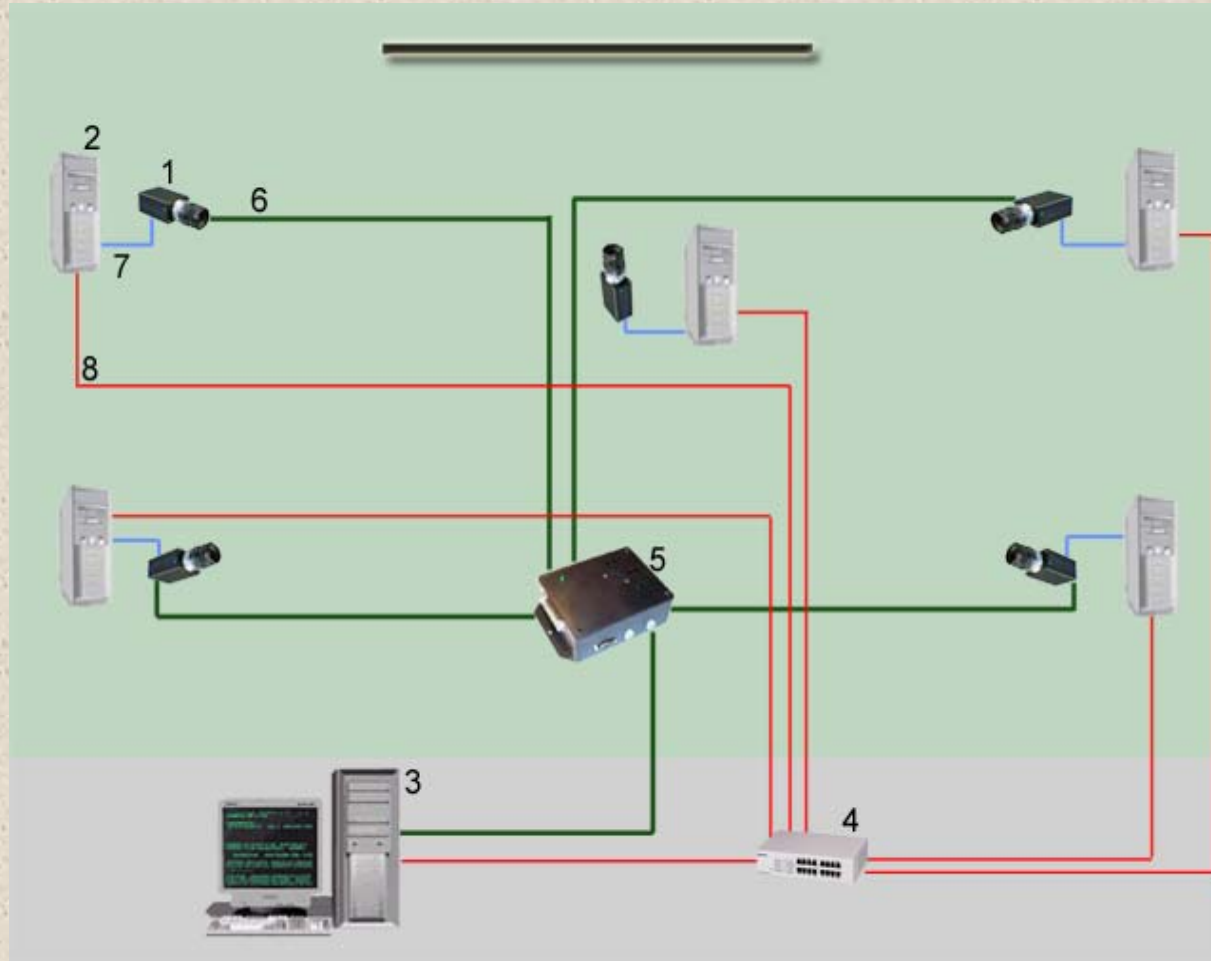
2º Sistema: Fin del Tiro

## Rotación:

1 Cámara



# Características de las Cámaras



## Trayectoria:

Cámaras FireWire (1394a)  
1/2"CMOS. 640x480  
100 FPS  
1/1000' Obturación  
Distancia focal: 25mm  
Ángulo de visión: 73°

## Rotación:

Cámara FireWire (1394a)  
1/2"CMOS. 640x480  
100 FPS  
1/1000' Obturación  
Distancia focal: 50mm  
Ángulo de visión: 40°



# Qué se garantiza

## Cámaras FireWire

No hay pérdida en la conversión de señales (se evita la digitalización):

## Trayectoria en particular

100 FPS = triangular la posición de la pelota cada 35 cm.

1/1000 Obturación = Blurring despreciable: desplazamiento de la pelota 2 cm.

640x480 píxeles = Triangular con un margen de error de 10 cm. para el peor caso

25mm distancia focal = Abarcar la escena completa desde ambas cámaras

## Rotación en particular

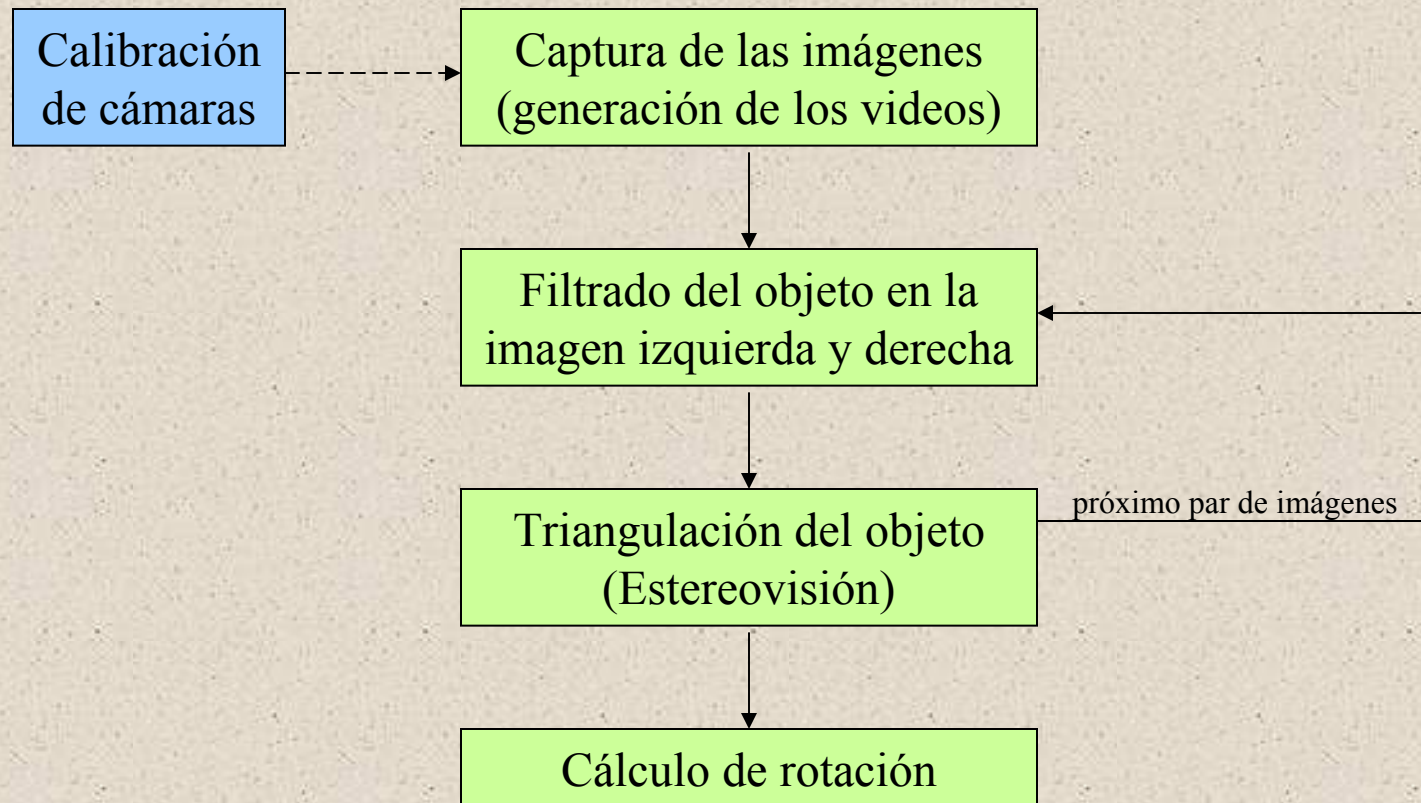
100 FPS = la rotación entre cuadro y cuadro no será mayor a 1/10 de revolución

1/1000 Obturación = Blurring despreciable: rotación no mayor a 7 mm.

640x480 píxeles = Detección correcta de las marcas

50mm distancia focal = Abarcar completamente la zona del arco

# Diagrama de procesamiento de un Tiro



# Calibración de Cámaras

Parámetros intrínsecos: propios de la cámara como dispositivo óptico.

- **Punto principal** (centro de la imagen) en respecto del sist. de ref. de la cámara.
- **Distancia focal**: distancia que separa el centro óptico del plano de la imagen.
- **Factores de escala para los ejes x e y**, para conversión píxel/mm.
- **Coefficientes de distorsión geométrica**: afecta a los puntos en el plano de la imagen.

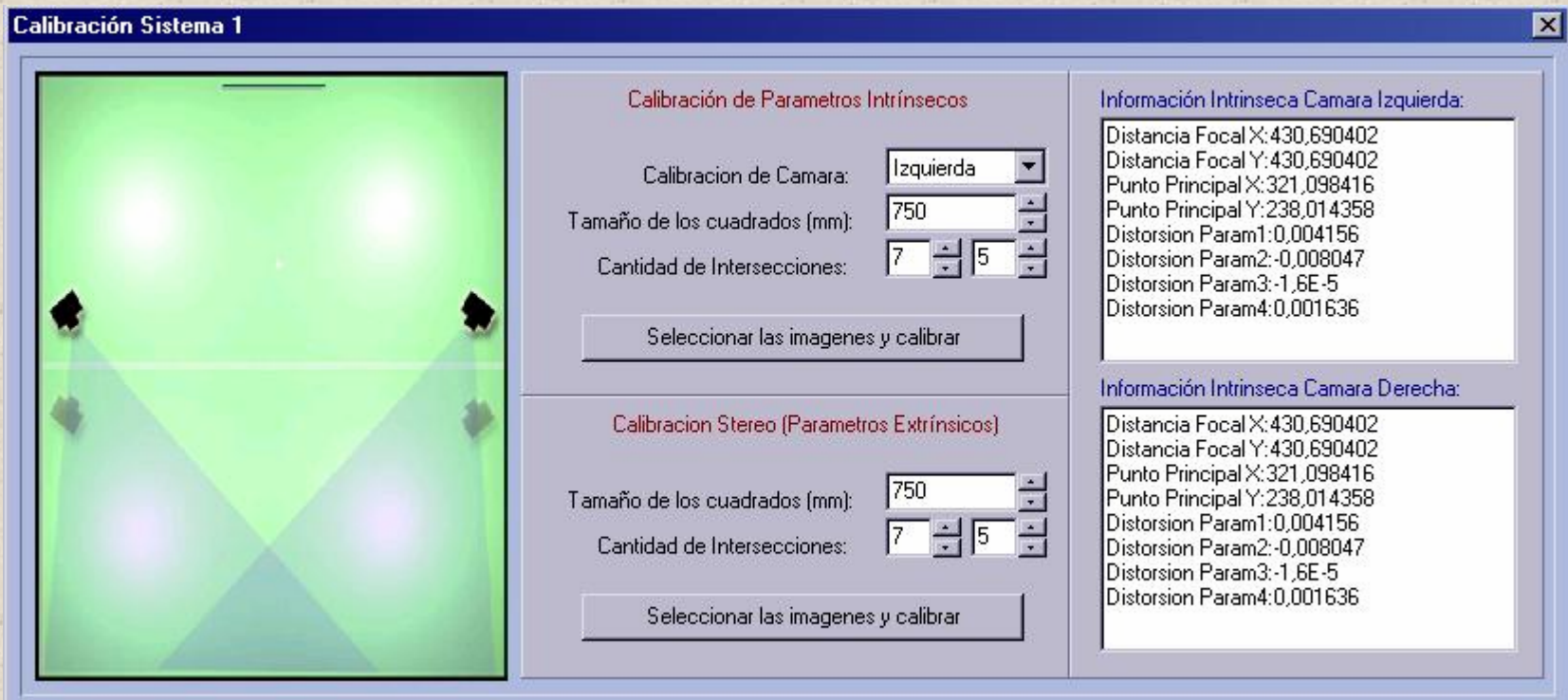
Parámetros extrínsecos: definen la orientación y posición de la cámara respecto de un sistema de coordenadas determinado (sistema de coordenadas del mundo).

- **Desplazamiento**:  $T_x, T_y, T_z$ .
- **Orientación**:  $R_x, R_y, R_z$  (ángulos respecto a los ejes x, y, z).

# Calibración de Cámaras

El proceso de calibración de cámaras es uno de los más importantes, ya que una incorrecta realización del mismo puede llevar a errores de precisión al momento de la triangulación de puntos en el espacio.

El módulo de calibración fue desarrollado para realizar la calibración intrínseca y extrínseca de cada uno de los sistemas estéreo por separado.





# Calibración de Cámaras

El proceso de calibración intrínseca necesita un conjunto de imágenes de una grilla de calibración de tamaño conocido. La aplicación informa las esquinas internas encontradas en cada una de las imágenes.

El proceso se debe realizar con ambas cámaras del sistema estéreo.

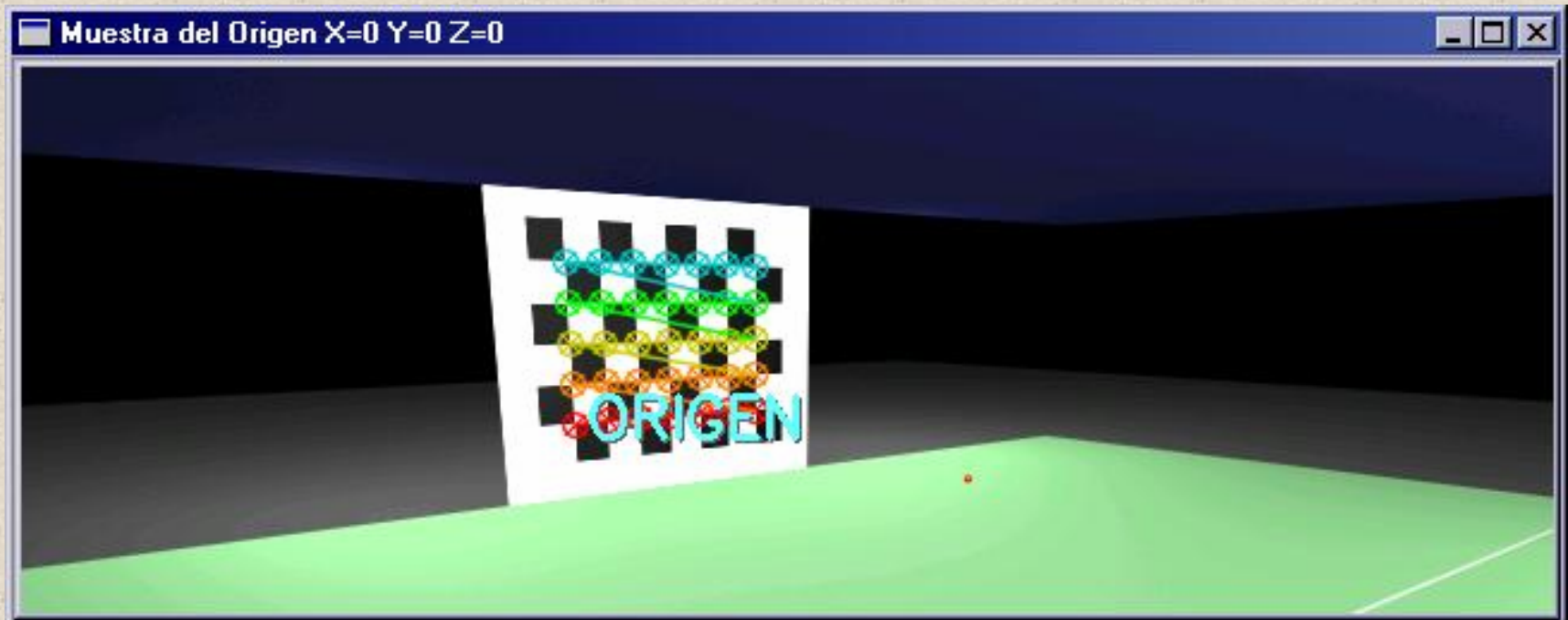




# Calibración de Cámaras

El proceso de calibración extrínseca necesita una única imagen de la grilla por cada cámara. Dichas imágenes deben ser correspondientes a la misma escena real.

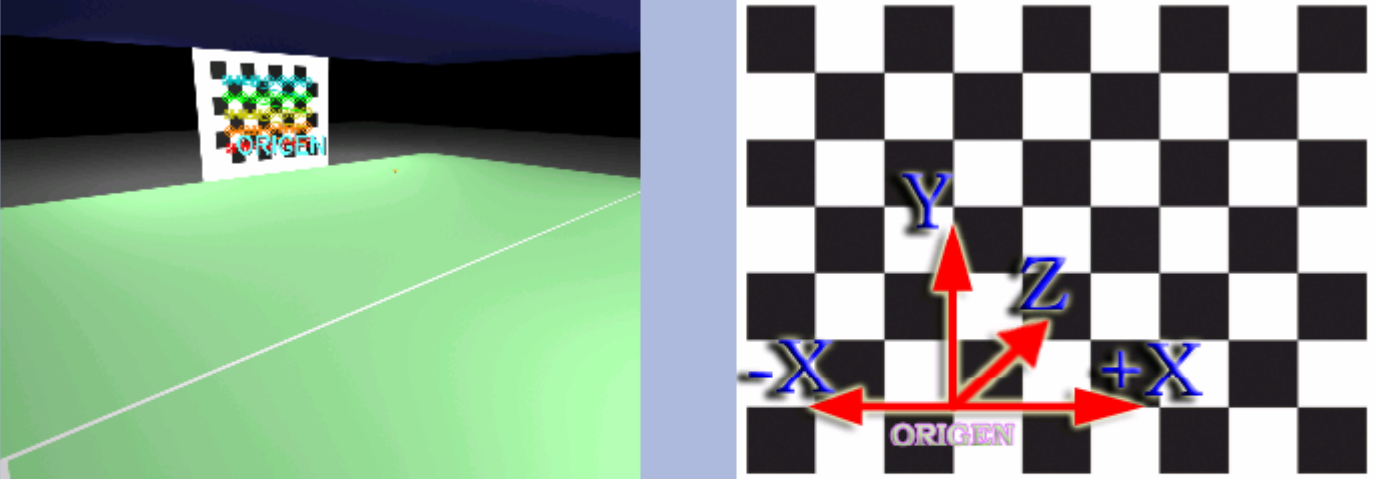
La aplicación informa el origen de coordenadas definido sobre la grilla de calibración.



# Calibración de Cámaras

Una vez finalizado el proceso de calibración, se debe trasladar el punto de origen definido automáticamente por la aplicación. Los valores introducidos deben trasladar dicho origen a uno situado en el centro del arco sobre la línea de fondo.

Traslacion del centro de la grilla al centro real

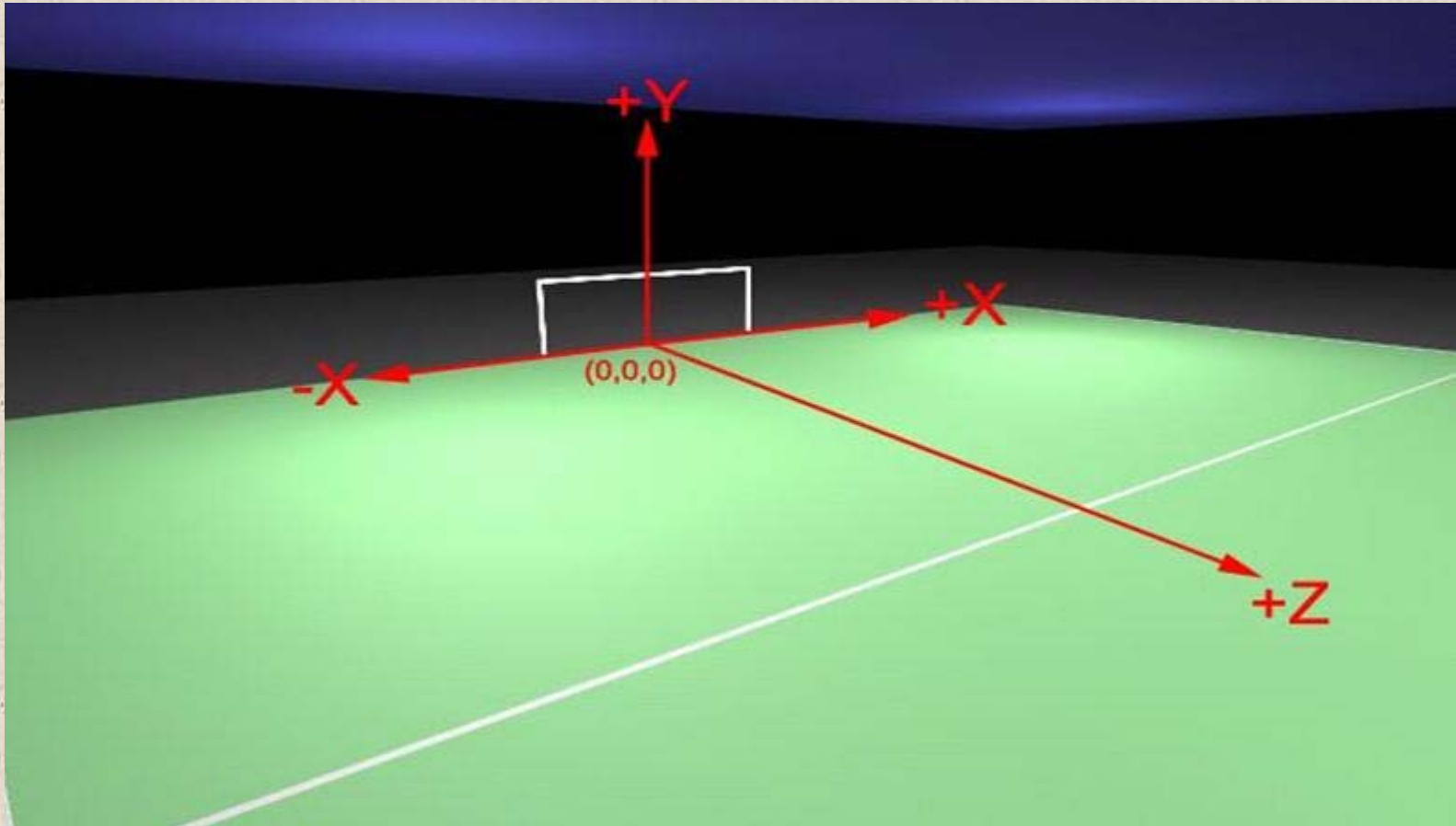


X =       Y =       Z =

Aceptar

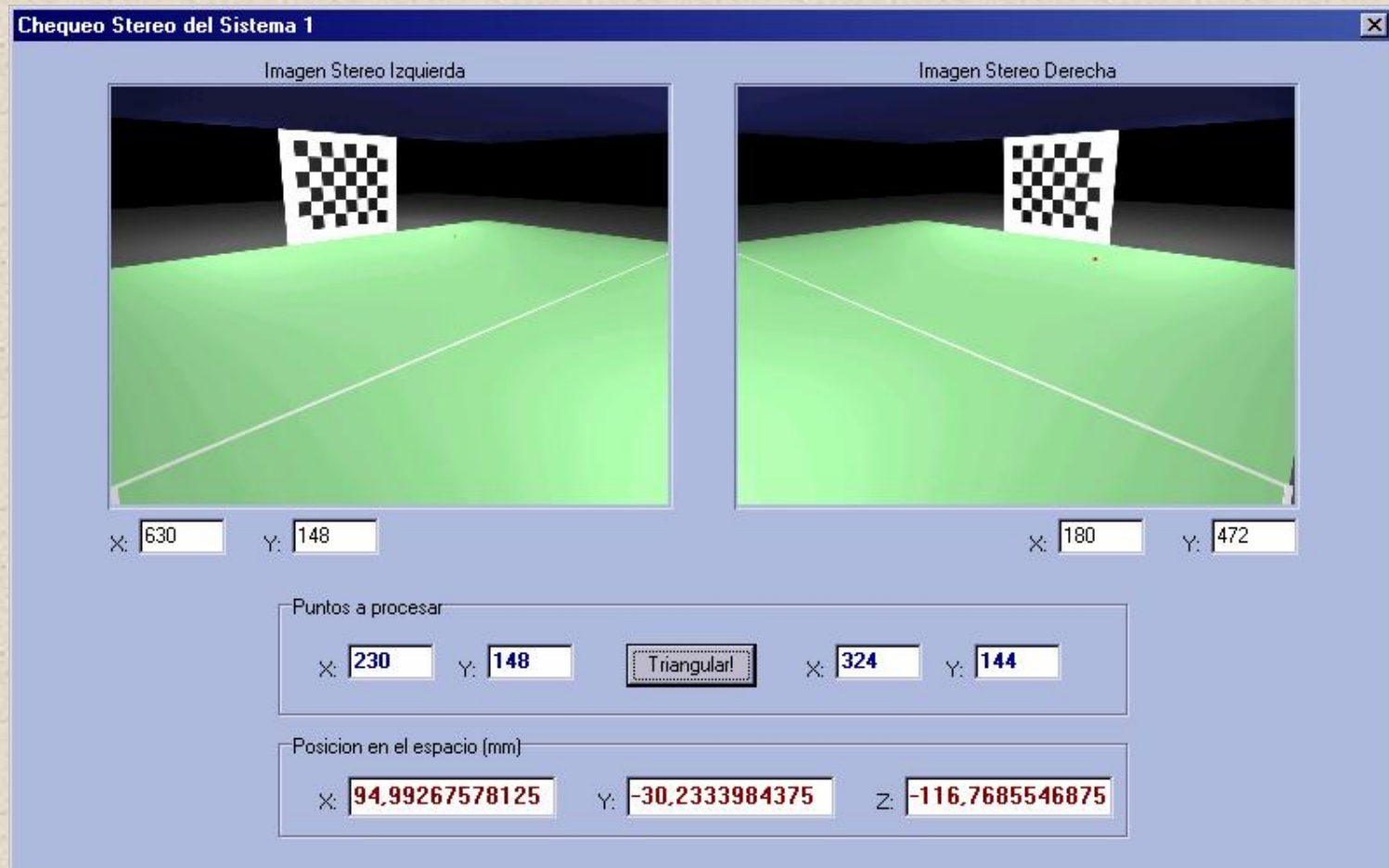
# Calibración de Cámaras

Una vez realizada la traslación, el origen de coordenadas queda establecido como se observa en la siguiente imagen.



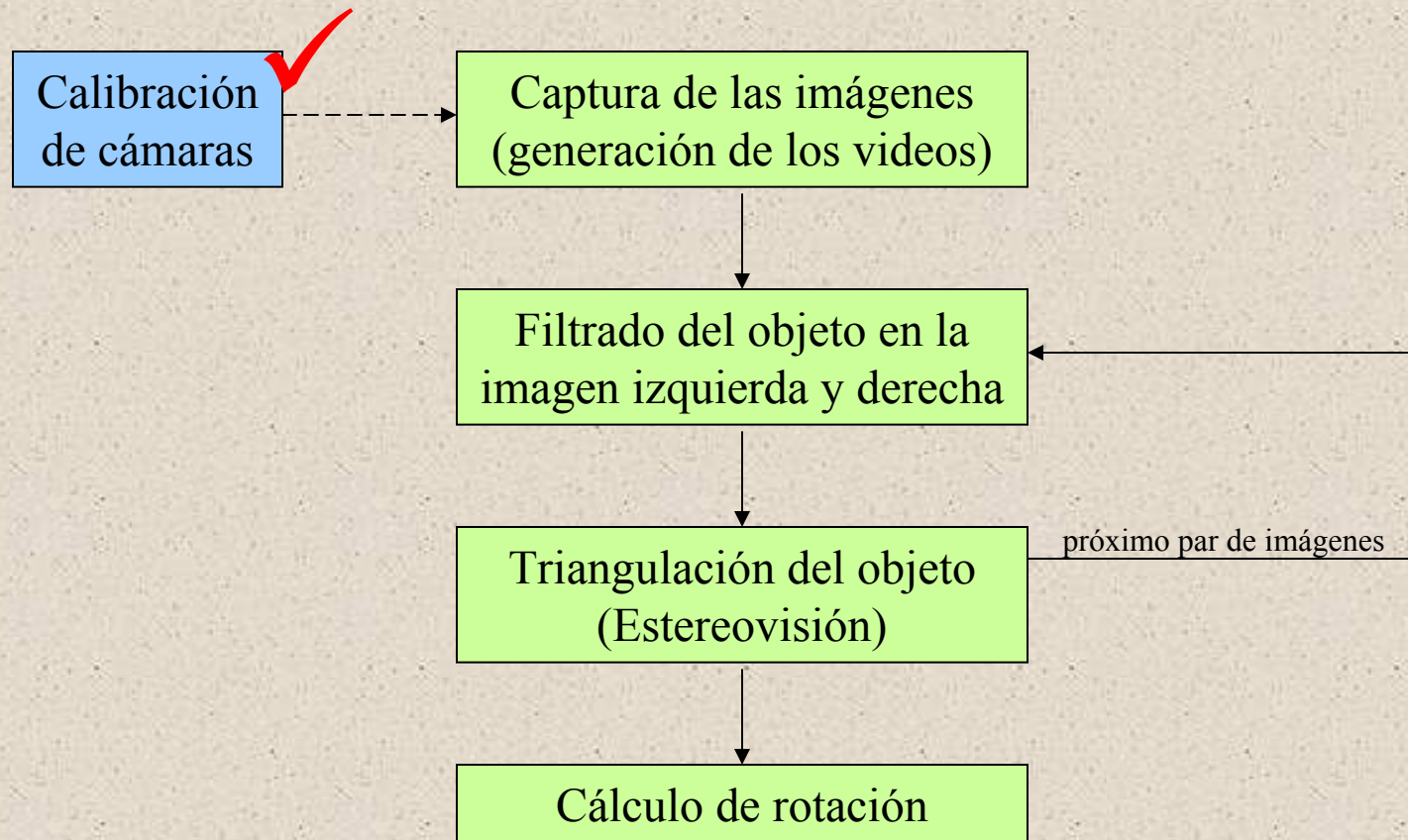
# Calibración de Cámaras

La aplicación permite también constatar la correcta calibración de los sistemas estéreo por medio de un módulo de chequeo desarrollado con ese fin.





# Diagrama de procesamiento de un Tiro





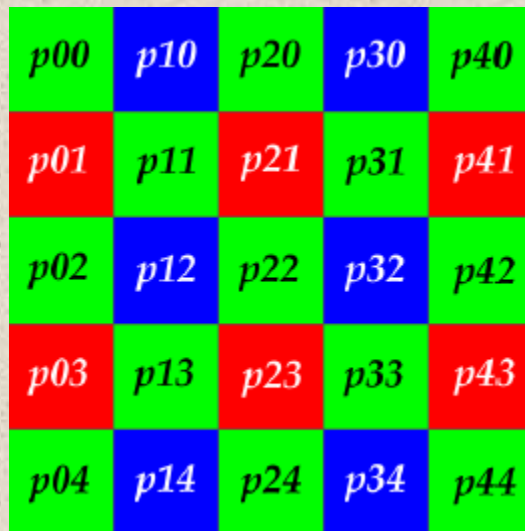
# Capturar 100 FPS utilizando 1394a

Tasa de transferencia 1394a = 400 Mbps = **50 Mbytes/seg.**

Requerido =  $640 \times 480 \times 24\text{bpp} * 100 \text{ FPS} = 921600 \text{ bytes} * 100 \text{ FPS} = \mathbf{87 \text{ Mbytes/seg.}}$

Solución = Captura en modo RAW (crudo): cada imagen será de 8bpp.

La conversión a RGB será realizada por software.



## Cámaras con Bayer Mosaic

1 CCD, cada píxel filtra una longitud de onda diferente para poder luego reconstruir la imagen a colores.

Raw =  $640 \times 480 \times 8\text{bpp} * 100 \text{ FPS} = 307200 \text{ bytes} * 100 \text{ FPS} = \mathbf{29 \text{ Mbytes/seg.}}$

# Capturar 100 FPS utilizando 1394a

Conversión realizada mediante el software desarrollado



Imagen Real

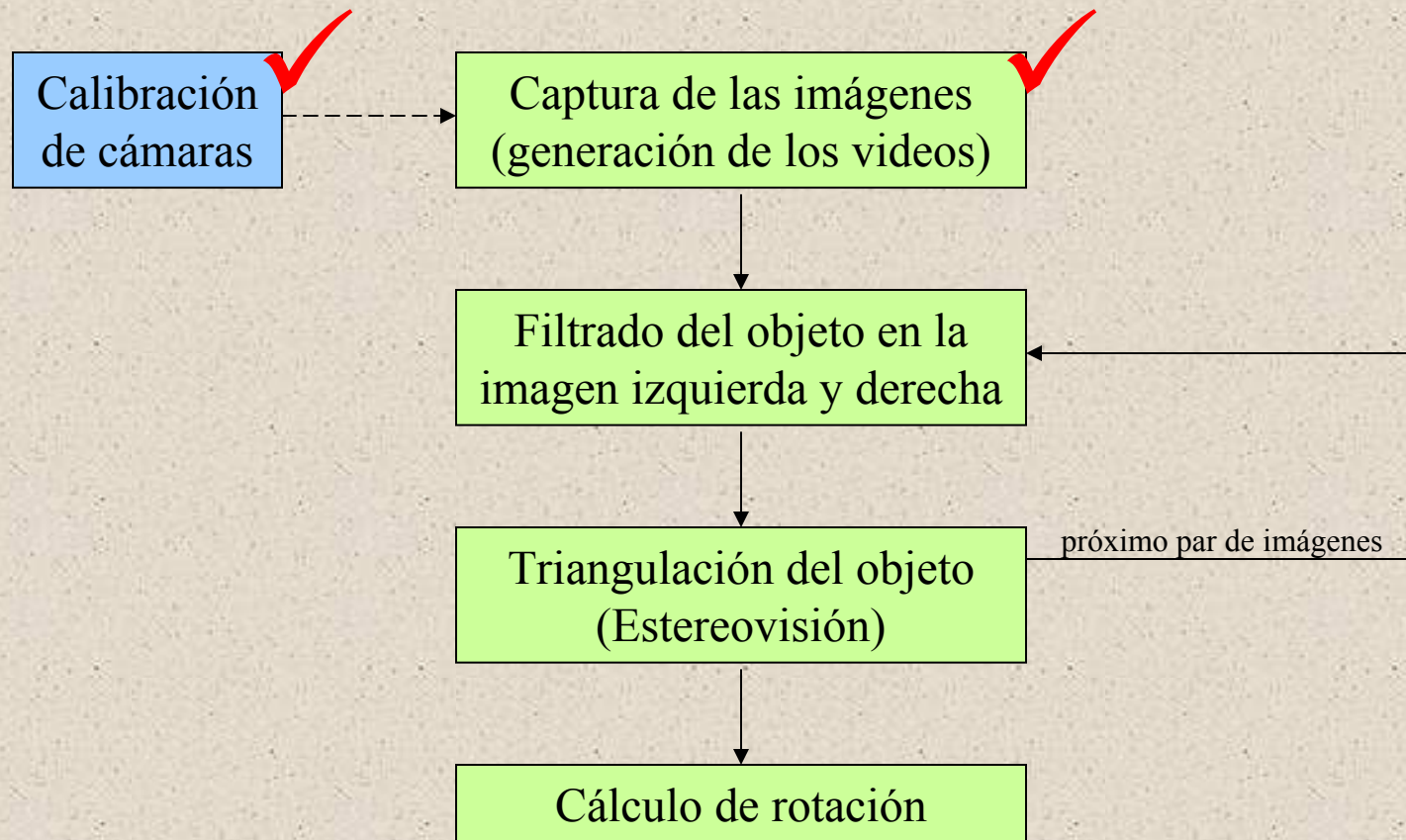


Captura en Raw

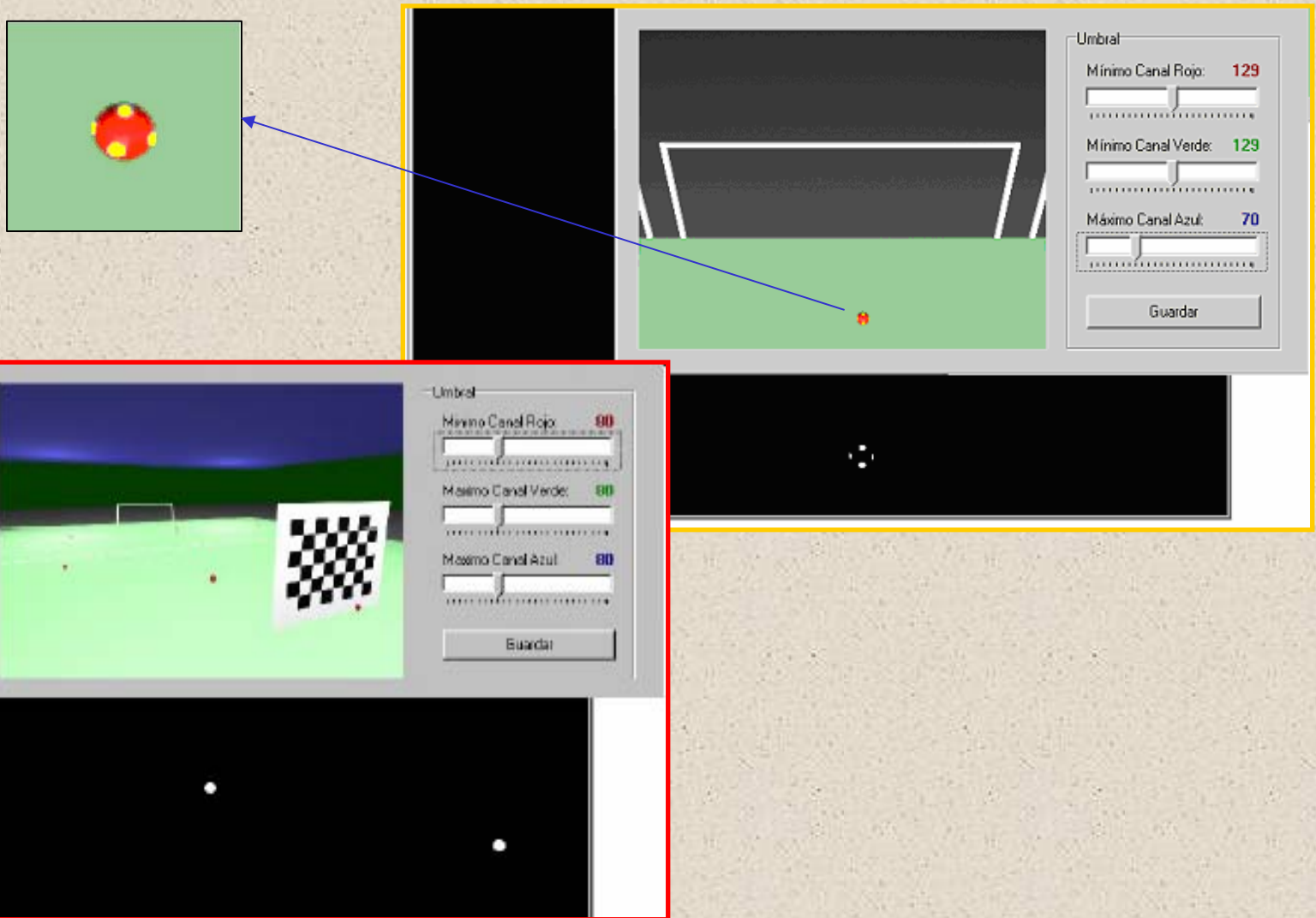


Interpolación  
Reconstructiva

# Diagrama de procesamiento de un Tiro

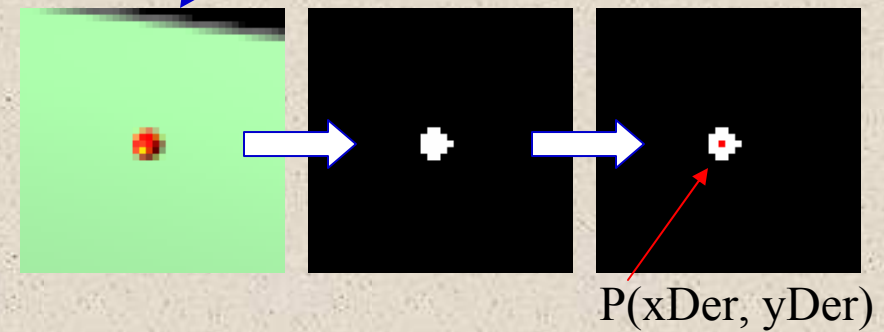
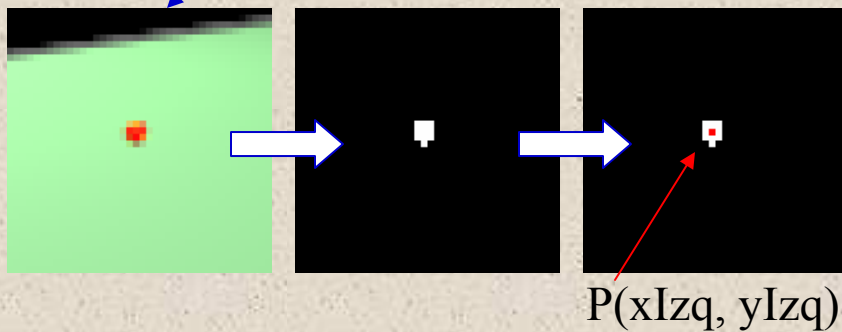
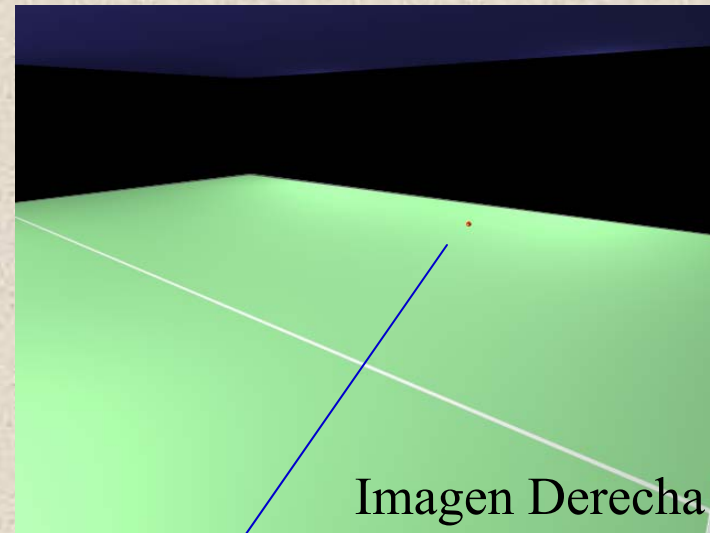
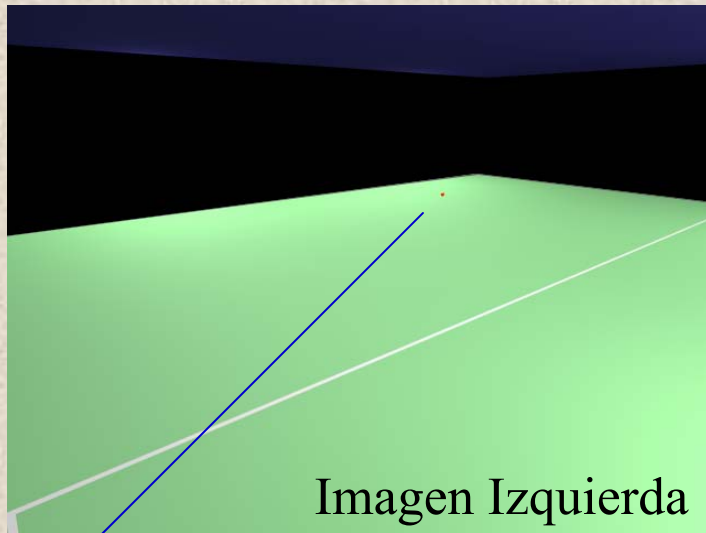


# Filtrado de la Pelota





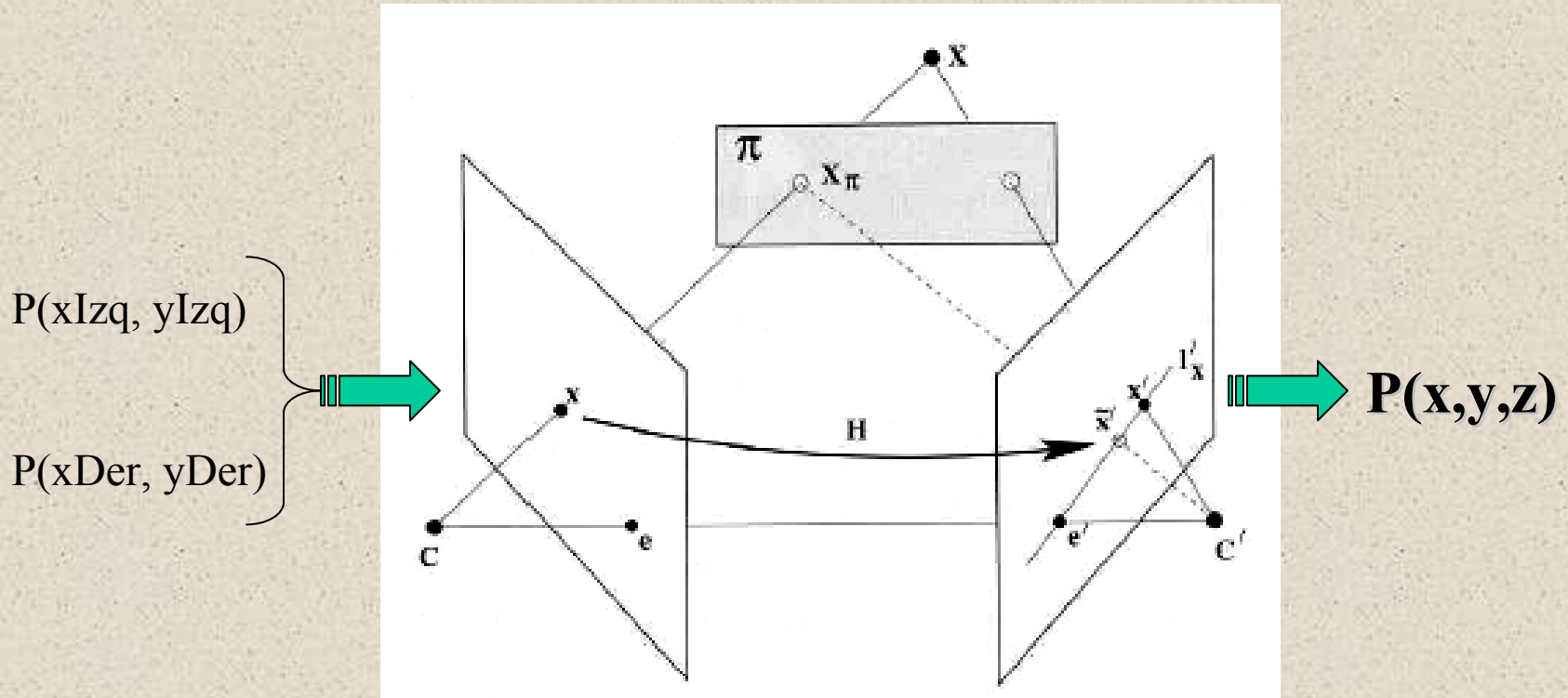
# Triangulación del Objeto



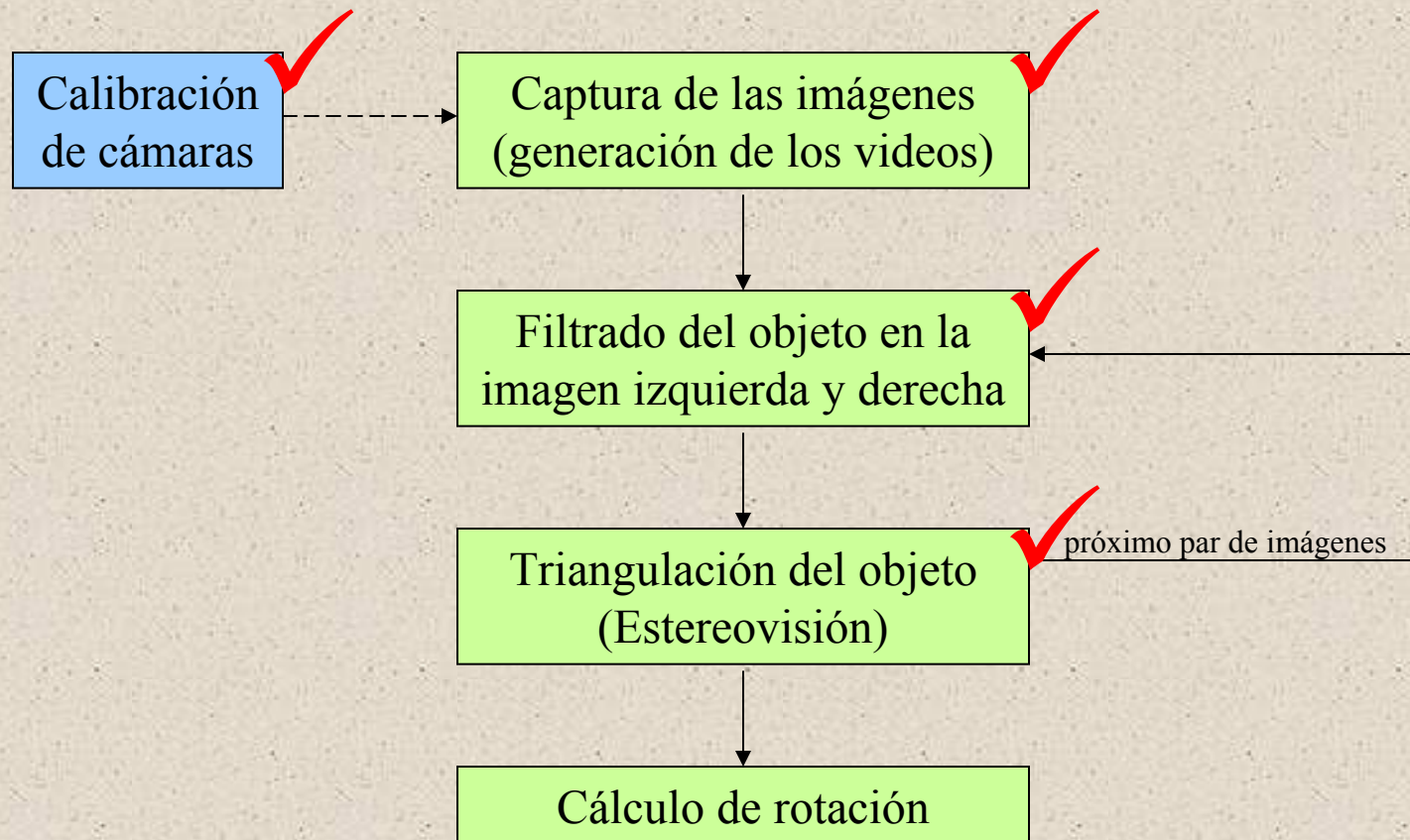


# Triangulación del Objeto

La estereovisión intenta dilucidar qué puntos de dos imágenes son la proyección de un mismo punto real. Una vez establecido que  $x$  y  $x'$  son la proyección de un mismo punto  $X$  en los dos planos imagen  $C$  y  $C'$ , es posible obtener las coordenadas de dicho punto, mediante triangulación. Este procesamiento se realizará cuadro a cuadro, obteniendo así la trayectoria descrita.

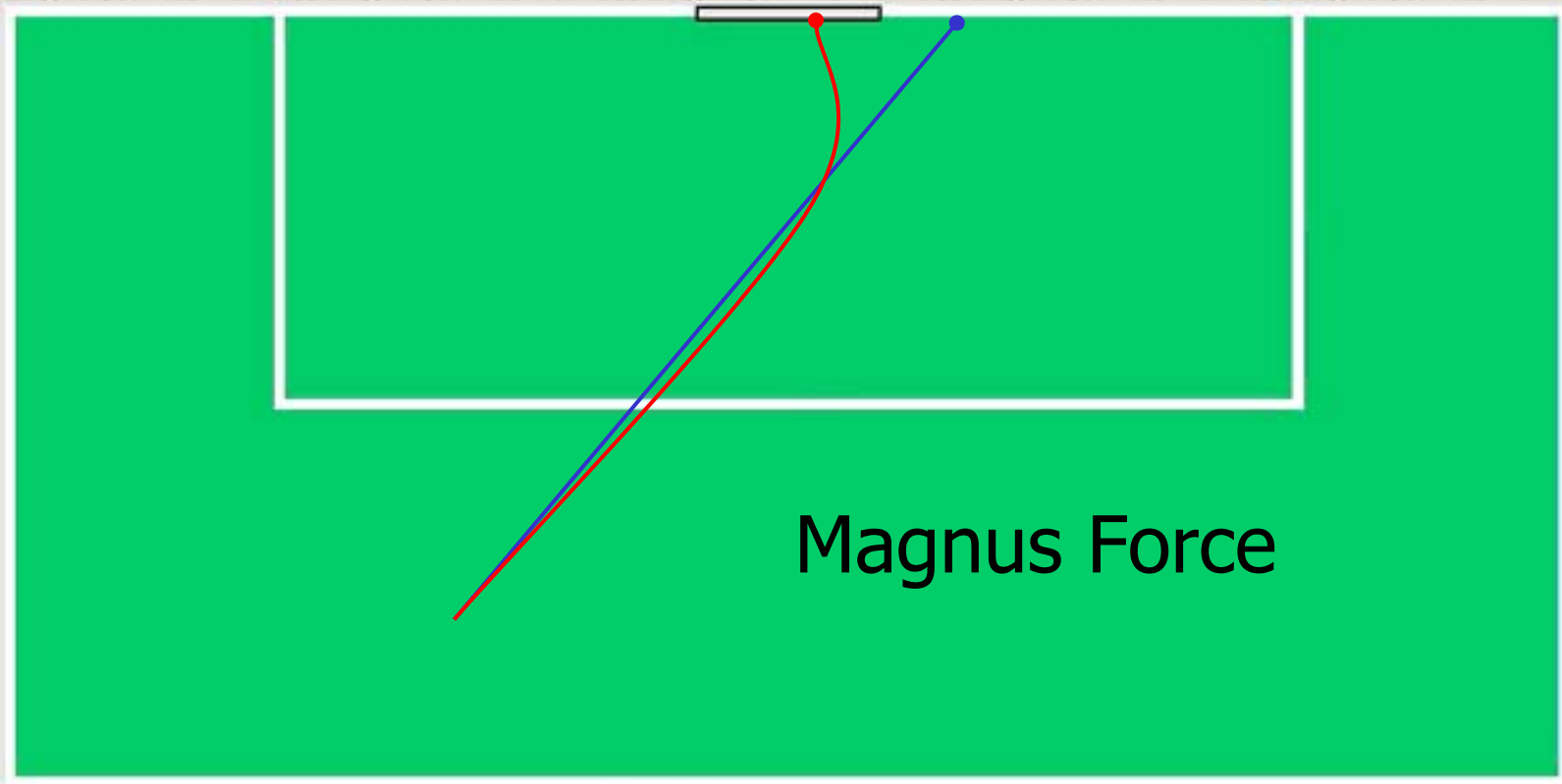


# Diagrama de procesamiento de un Tiro



# Cálculo de Rotación - Introducción

¿Cuál es la incidencia de la velocidad de rotación que adopta la pelota sobre la dirección de la trayectoria?



# Cálculo de Rotación - Introducción

¿Cuál es la incidencia de la velocidad de rotación que adopta la pelota sobre la dirección de la trayectoria?

## **Resolución de 640x480 píxeles**

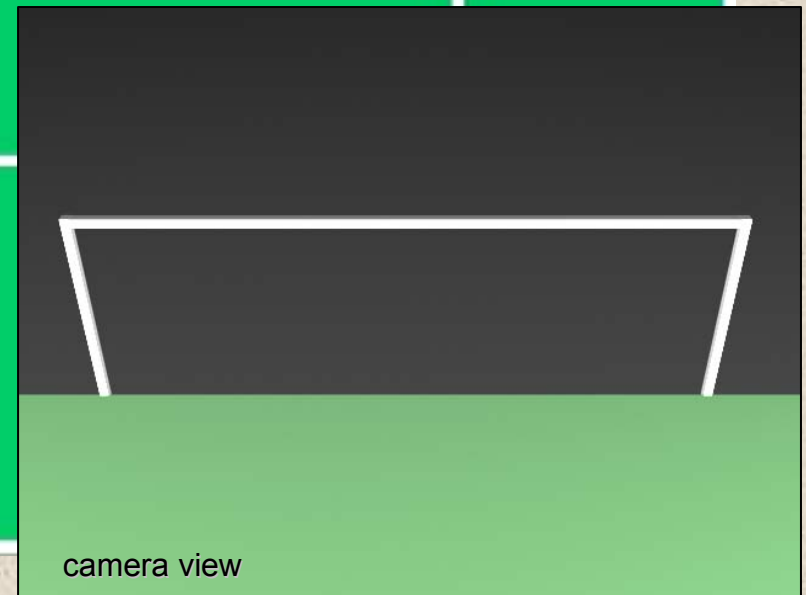
Precisión relativamente alta contemplando la distancia entre la cámara y la pelota.

## **100 Cuadros Por Segundo (FPS)**

Estudios indican que la pelota despliega una velocidad de rotación no mayor a 10 RPS. Por lo tanto, la rotación de la pelota no será mayor a 1/10 de revolución entre frame y frame.

## **1/1000 de Velocidad de Obturación**

Blurring effect no mayor a 7mm





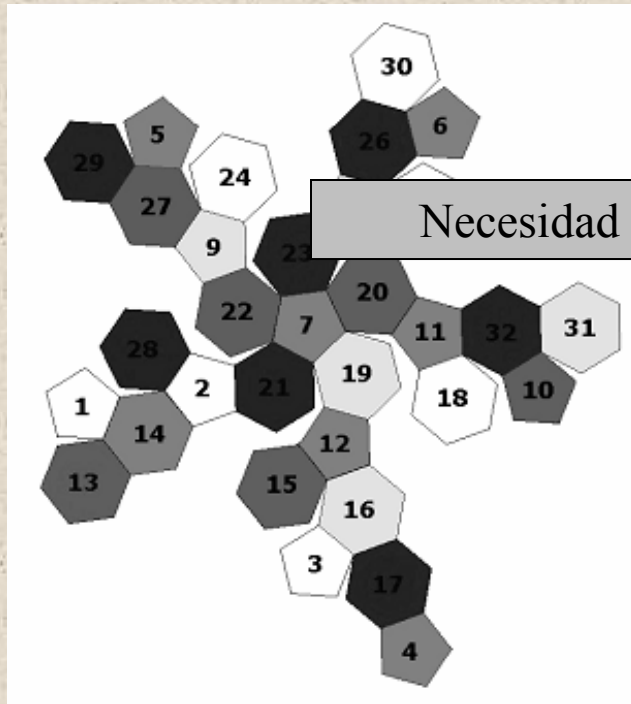
# Cálculo de Rotación

¿Cómo determinar la velocidad de rotación de la pelota?

Ciertas técnicas involucran etiquetados complejos.

Algunos métodos limitan zona de captura.

Equipos de captura costosos.



Necesidad de desarrollar un método Ad hoc.



# Cálculo de Rotación – Análisis de Rotación

## Desde el punto de vista del objeto

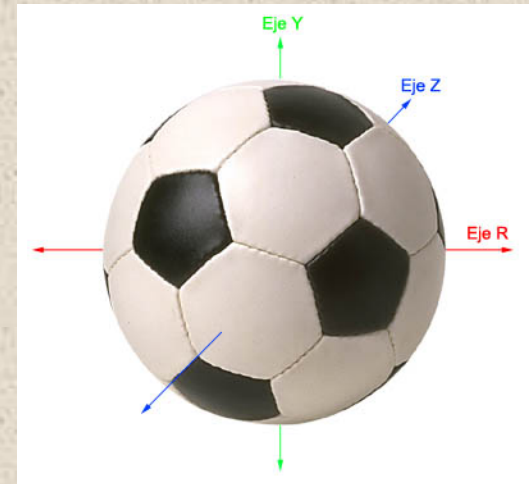
Las direcciones de giro rotacional que puede adoptar la pelota son sin ninguna duda casi ilimitadas.

Tomemos como referencia tres ejes principales sobre los que la pelota puede realizar el movimiento de rotación. Tres posibilidades:

Rotación sobre eje X - Rotación sobre eje Y - Rotación sobre eje Z

El movimiento absoluto sobre un eje anula la posibilidad de movimiento de los restantes.

El número de ejes que atraviesa el centro de la pelota es infinito, con lo cual no es posible lograr una clasificación útil.



**¿Se pueden clasificar las variantes que presenta la rotación de la pelota?**

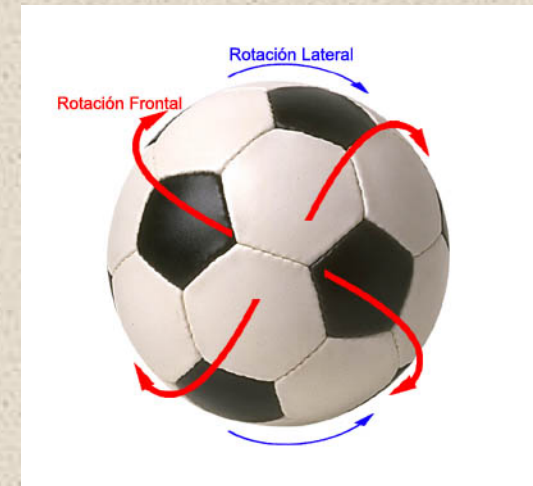


# Cálculo de Rotación – Análisis de Rotación

Desde el punto de vista del observador

Bajo este contexto, existen 3 casos principales:

- **Rotación lateral aparente**
- **Rotación frontal aparente**
- Sin rotación aparente



Existe entonces una clasificación de casos de rotación.

¿Se puede explotar esta característica con el fin de determinar la velocidad de rotación?



# Cálculo de Rotación – Marcación y Filtrado

Marcación: Distribución de marcas sobre la superficie de la pelota con el fin de poder conocer en todo momento el movimiento que ésta realiza, mediante el seguimiento de las mismas.

Filtrado: Identificar individualmente cada una de las marcas de la pelota.

**Dada una imagen y una marca, determinar la nueva ubicación de dicha marca en la imagen anterior o siguiente.**

El filtrado de las marcas amarillas se realizó mediante una umbralización por niveles de intensidad lumínica en los canales RGB.

Se desechan píxeles lejanos a la posición de la pelota y píxeles que no estén ligados a la misma (vecindad) con el fin de determinar un filtrado óptimo.

Seis marcas sobre la superficie, dos por eje axial.



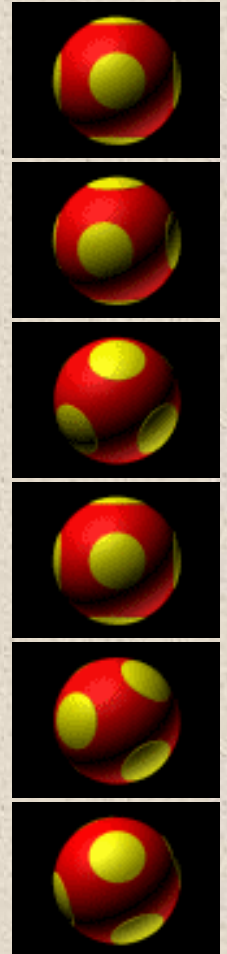


# Cálculo de Rotación – Casos de Análisis

## Seguimiento de las marcas según rotación de la pelota

### **Incorporación del modelo de marcación al sistema de clasificación**

1. La pelota realiza una rotación lateral aparente.
  - a. **Marca central supuestamente inmóvil**
  - b. **Marca central atraviesa parcialmente el centro de la pelota**
  - c. **Puede no presentarse marca en el centro de la pelota**
2. La pelota realiza una rotación frontal aparente.
  - a. **Marca central atraviesa el centro de la pelota**
  - b. **Ninguna marca atraviece el centro de la pelota**
3. **La pelota no realiza rotación aparente alguna.**



# Cálculo de Rotación - Procesamiento

## Modelo Computacional

### Pasos del procesamiento. Caso genérico.

- 1) Determinar frame óptimo de procesamiento
- 2) Filtrado y etiquetado de marcas
- 3) Seguimiento de marcas
  - a) Frontal (si es que existe)
  - b) Periféricas
- 4) Cálculo de velocidad

# Cálculo de Rotación - Procesamiento

## 1) Determinar frame óptimo de procesamiento

Sean

$i_1..i_n$  el conjunto de cuadros que componen la secuencia de video,

$V$  la ventana de búsqueda dentro de la zona central de la pelota,

$U$  el valor de luminosidad amarillo a superar sobre la ventana  $V$ .

Entonces, se debe encontrar el cuadro  $i_c$  tal que,

$$i_c = \max\{ V(i_k) > U, k = 1..n \}$$

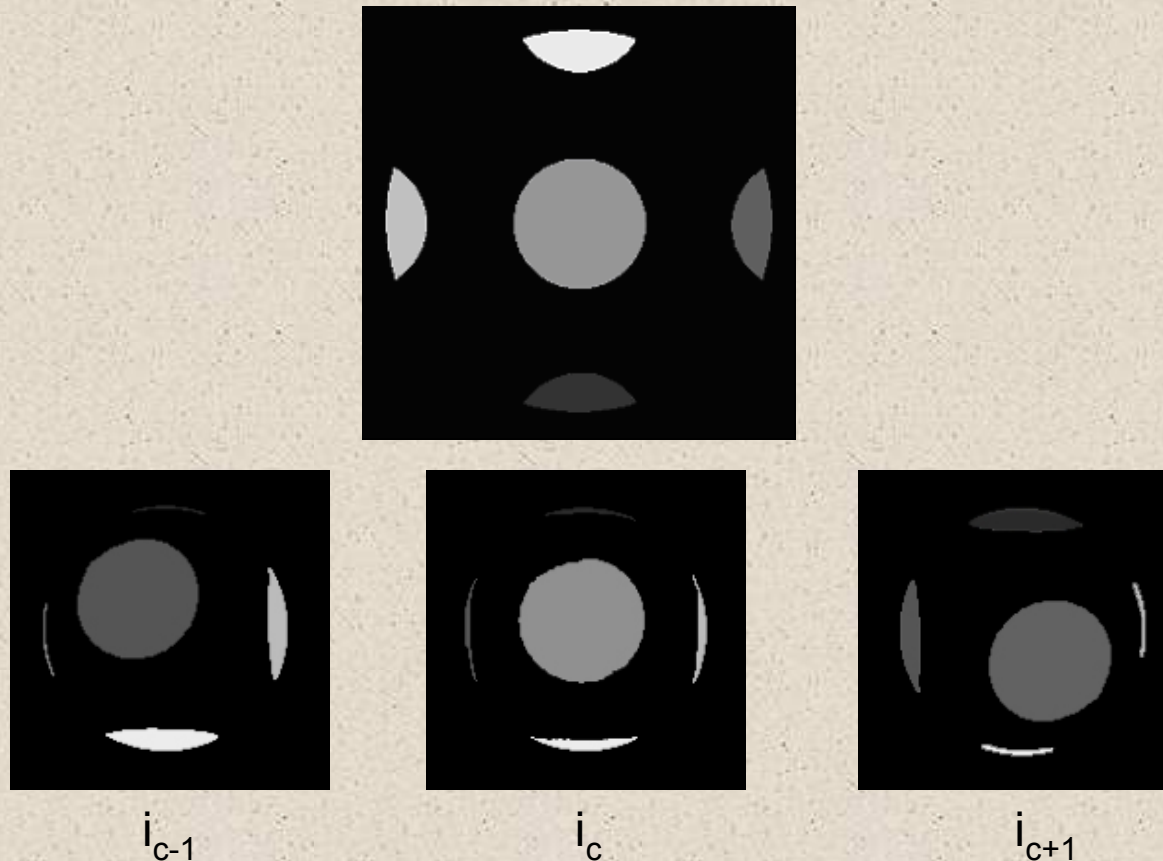
Frames  $i_{c-1}$ ,  $i_c$ ,  $i_{c+1}$   
serán utilizados para  
el cálculo de rotación



$i_c$  puede llegar a  
no existir

# Cálculo de Rotación - Procesamiento

## 2) Filtrado y etiquetado de marcas



Existirán como máximo 5 etiquetas  $t$  en el frame central ( $i_c^t, t = 1..5$ )



# Cálculo de Rotación - Procesamiento

## 3) Seguimiento de marcas

Sean:

$i_{c-1, t=1..5}^t$  las cinco (como máximo) marcas del cuadro anterior a  $i_c$

$i_{c, t=1..4}^t$  las cuatro (como máximo) marcas del cuadro  $i_c$ , más marca central  $i_c^c$

$i_{c+1, t=1..5}^t$  las cinco (como máximo) marcas del cuadro posterior a  $i_c$

Se requiere entonces determinar la posición de la etiqueta central  $i_c^c$  dentro de las etiquetas de los cuadros anterior y posterior al central.

Esto significa que se deberán encontrar las etiquetas distinguidas  $i_{c-1}^c$  y  $i_{c+1}^c$  dentro de  $i_{c-1, t=1..5}^t$  y  $i_{c+1, t=1..5}^t$

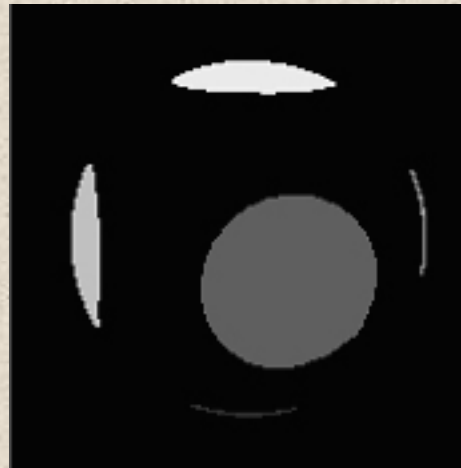
# Cálculo de Rotación - Procesamiento

## 3) Seguimiento de marcas

Procesamiento más liviano que Block Matching u Optical Flow



Cuadro  $i_c$



Cuadro  $i_{c+1}$



Búsqueda de  $i_{c+1}^c$  en  $i_c$  en base a centro de masa de  $i_c$

Debido a la distribución de las marcas y las características de las cámaras, la primera etiqueta encontrada será  $i_{c-1}^c$  y  $i_{c+1}^c$

Se realiza un proceso análogo para ciertas marcas de la periferia (según caso)

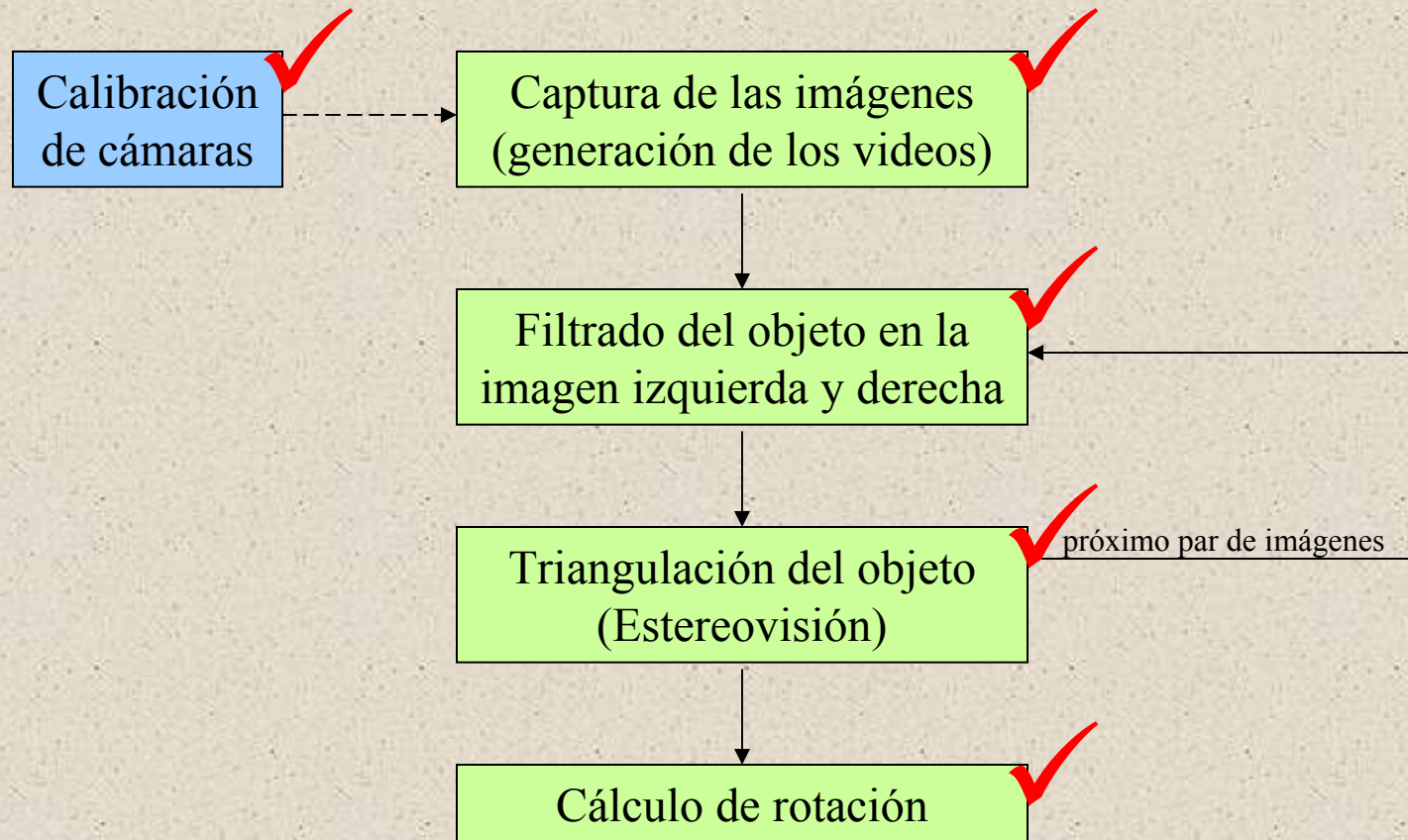
# Cálculo de Rotación - Procesamiento

## 4) Cálculo de velocidad

Esta etapa implica:

- Determinar centro de masa de cada etiqueta
- Determinar relación pixel milímetros (en zona procesada del video)
- Calcular distancia euclídea en píxeles entre centros de etiquetas
- Convertir distancia en píxeles a milímetros
- Obtener velocidad frontal utilizando milímetros / FPS del video
- Obtener velocidad periférica utilizando milímetros / FPS del video
- Ponderar ambas velocidades (de acuerdo a casos 1a, 1b, 1c, 2a, 2b o 3)

# Diagrama de procesamiento de un Tiro





# Entorno de visualización de tiros

The screenshot shows a software interface for visualizing soccer shots. It consists of several windows:

- Visualizador de Tiros - Tiro1.sht**: The main control panel. It features a set of playback controls (play, pause, stop, first, last, etc.) and a 'Elegir Vista:' dropdown menu set to 'Frente'. There are also checkboxes for 'Trayectoria Real', 'Punto mayor altura', 'Trayectoria Estimada', and 'Punto de cambio', and options for 'Ver Vistas de Camaras' and 'Ver Vistas Rotación'.
- Trayectoria Frente**: A top-down view of the soccer field showing the ball's path in red towards the goal.
- Trayectoria Camara Izquierda**: A side view of the soccer field showing the ball's path.
- Trayectoria Superior**: A top-down view of the soccer field showing the ball's path.
- Trayectoria Camara Derecha**: A side view of the soccer field showing the ball's path.
- Trayectoria Lateral**: A side view of the soccer field showing the ball's path.
- Fecha: 04/07/2005 10:17:49**: A window showing player information: 'Jugador Actual' with 'Código: 1' and 'Nombre: Gastón Rodríguez'. It also includes video information (frames per second, total frames, current frame, and time) and shot information (initial acceleration, velocity, and various distance and rotation metrics).

Red numbers 1, 2, 3, and 4 are overlaid on the interface to highlight specific areas:

- 1**: Points to the 3D soccer field view.
- 2**: Points to the player information and video/shot data panels.
- 3**: Points to the 'Trayectoria Superior' window.
- 4**: Points to the playback controls and view selection menu.

**Finalidad: Facilitar aprendizaje**

- Maximizar visibilidad
- Comprensión intuitiva de los componentes
- Distribución óptima de los objetos

# Entorno de visualización - Rotación

The screenshot displays a software interface for analyzing a soccer ball's trajectory. The main window, titled "Visualizador de Tiros - Tiro1.sht", contains a control panel with playback buttons (play, pause, stop, first, last, previous, next) and a "Elegir Vista:" dropdown menu set to "Frente". Below the controls are checkboxes for "Trayectoria Real" (checked), "Trayectoria Estimada", "Punto mayor altura" (checked), and "Punto de cambio". There are also checkboxes for "Ver Vistas de Camaras" and "Ver Vistas Rotación" (checked), with associated playback controls. A blue arrow points from the "Ver Vistas Rotación" controls to the "Rotacion" window.

The "Rotacion" window shows a top-down view of the soccer field with a red ball and a white goal. Below it, a smaller window shows a close-up of the ball, which is red with yellow and white patterns.

On the right side, three windows show different trajectory views: "Trayectoria Frente" (front view), "Trayectoria Superior" (top view), and "Trayectoria Lateral" (side view). Each view shows a red line representing the ball's path.

At the bottom left, a panel displays technical data for the shot:

- Altura máx: 2,24644 m
- Dist. al centro del arco: -0,07847 m
- Altura: 1,75726 m
- Dist. al arco: -0,01274 m
- Vel. rotación: 2,69767 rps

A text box in the center-left of the interface contains the text: "Reproducción independiente de los videos de rotación".

# Entorno de visualización - Zoom

**Visualizador de Tiros - temp.sht**

Fecha: 14/02/2006 08:54:04

Jugador Actual: Código: 1, Nombre: Gastón Rodríguez

Información del tiro:

Aceleración inicial:	19.4154	m/seg
Velocidad:	2.75743	m/seg
Vel. pto a pto:	4.27015	m/seg
Altura máx:	1.82501	m
Dist. al centro del arco:	1.27417	m
Altura:	1.56853	m
Dist. al arco:	-0.13322	m

Información de los videos:

Cuadros por segundo:	100
Cantidad de cuadros:	102
Cuadro actual:	102
Segundos transcurridos:	1' 1"

Trayectoria Superior

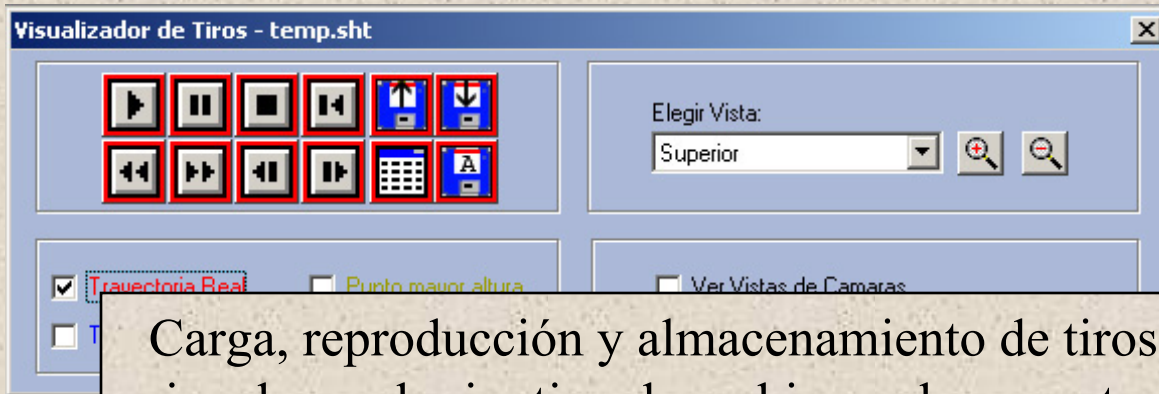
2

4

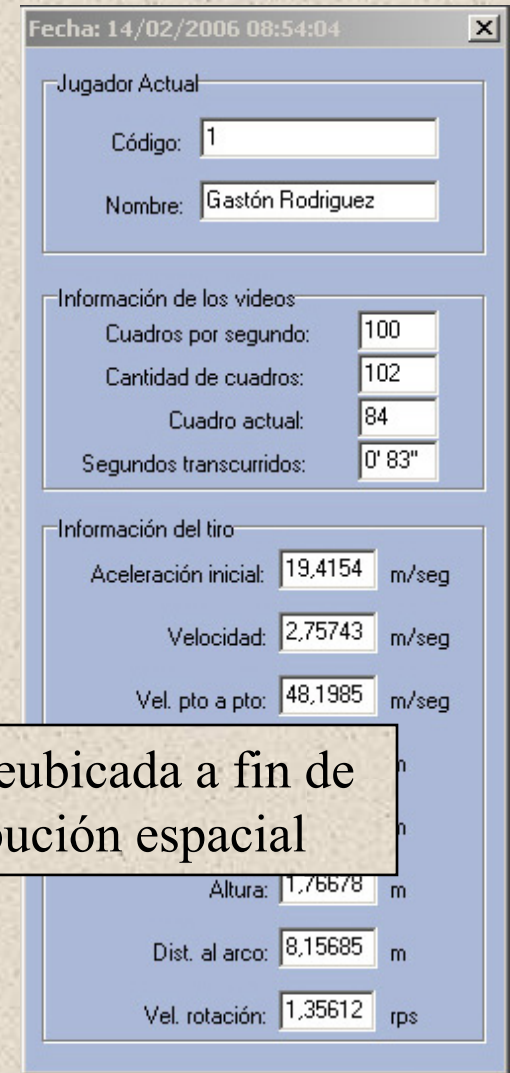
2

- Controles mantienen su posición (4)
- Información numérica reposicionada (2)
- Consistencia relegada por la correcta visibilidad

# Entorno de visualización - Controles



Carga, reproducción y almacenamiento de tiros igual a cualquier tipo de archivo o documento



Misma información, reubicada a fin de maximizar la distribución espacial





# Pruebas Realizadas

El proceso de pruebas fue llevado a cabo en cada etapa del desarrollo del sistema, con la intención de evitar propagar errores a etapas posteriores.

Una vez finalizado el desarrollo, se llevaron a cabo las pruebas del sistema como un todo, a fin de determinar su precisión bajo diferentes circunstancias variables de la escena.

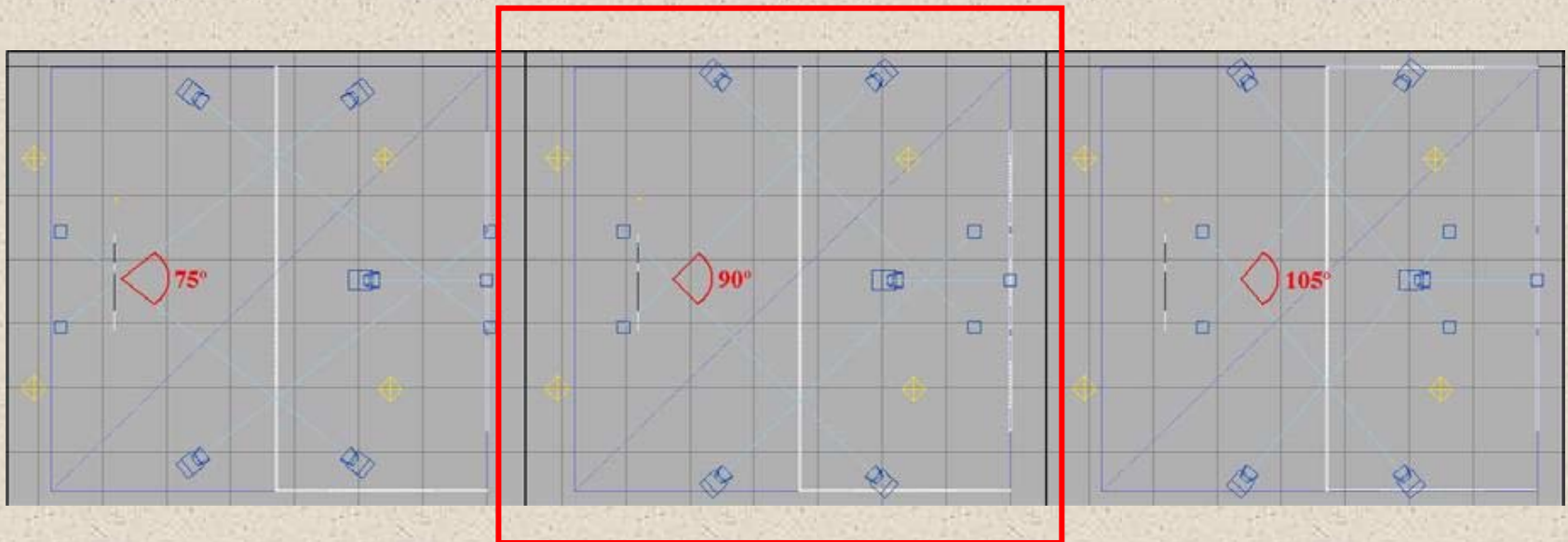
Dichas pruebas se realizaron utilizando el modelo 3D desarrollado. Las pruebas reales han sido pospuestas hasta la adquisición total del hardware.

La serie de pruebas realizadas determinaron las condiciones óptimas necesarias para obtener la mayor precisión posible.

# Pruebas - Simulaciones

## Disposición de las cámaras

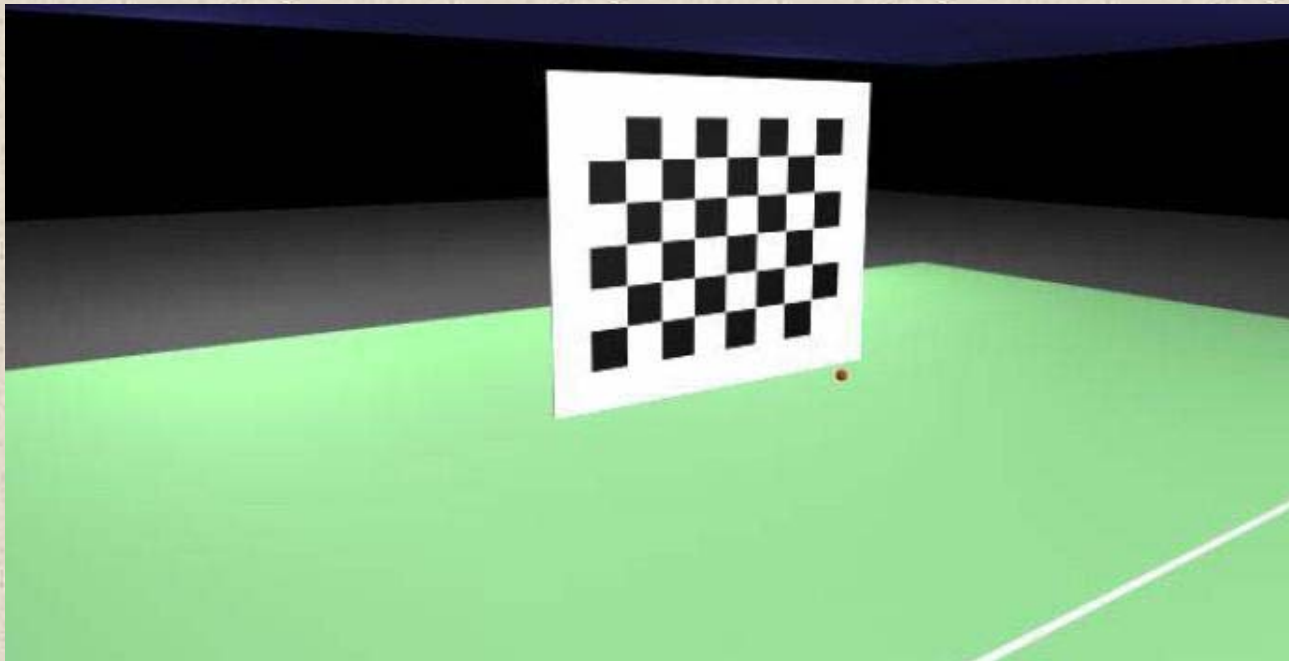
Se determinó el ángulo que deben formar las cámaras entre si, a fin de obtener el menor error posible en la reconstrucción de la trayectoria del tiro libre.



# Pruebas - Simulaciones

## Grilla de calibración: tamaño y posición

Es necesario mínimamente una grilla rectangular que contenga 24 esquinas internas (7 x 5 cuadros). Se logra una precisión mayor si ésta se ubica a una distancia promedio de profundidad. Dado que cada sector de captura de un sistema estéreo posee aproximadamente 17 metros de profundidad, la grilla se debe situar a los 8,5 metros aproximadamente.



# Pruebas - Simulaciones

## Iluminación de la escena

Se probaron **diferentes tipos de iluminación**, tanto spots como luz omnidireccional. Idealmente se debe contar con una iluminación uniforme de la escena.

Un aspecto crucial en la iluminación es que ésta debe ser lo **suficientemente potente** como para permitir capturas a una velocidad de obturación de 1/1000 de segundo.

Los reflectores utilizados por ejemplo en **canchas de fútbol 5**, son suficientes para cumplir con esta condición. Esto es, aproximadamente, 6 reflectores de 2kW cada uno.



# Pruebas - Datos obtenidos

## Datos de la trayectoria de la pelota

Dado que la posición de la pelota en el ambiente virtual 3D es conocida en cualquier instante de tiempo, es posible verificar el error cometido en la triangulación de cualquier punto de la trayectoria del tiro libre.

Nº Tiro	Error máximo de triangulación (punto obtenido a mayor distancia de las cámaras)	Error promedio de triangulación (basado en la totalidad de los puntos obtenidos)
Tiro 1	37 mm	25 mm
Tiro 2	34 mm	22 mm
Tiro 3	29 mm	17 mm
Tiro 4	31 mm	20 mm
Tiro 5	33 mm	20 mm
Tiro 6	28 mm	15 mm

Mediando los errores obtenidos en todos los tiros de prueba, se logró un promedio de error máximo de 34,31 mm y un promedio de error promedio de 20,68 mm.

# Pruebas - Datos obtenidos

## Datos de la velocidad de rotación de la pelota

La velocidad de rotación de la pelota en el ambiente virtual 3D es conocida. Se generaron tiros con diferentes tipos de rotación sobre los ejes X, Y, Z con el fin de verificar la precisión del método de cálculo desarrollado en todos los casos posibles.

Nº Tiro	Tipo de Rotación	Error
Tiro 1	Rotación lateral, con marca central inmóvil	0,2 rps
Tiro 2	Rotación lateral, con marca central atravesando parcialmente el centro de la pelota	0,9 rps
Tiro 3	Rotación lateral, sin marca en el centro de la misma	0,5 rps
Tiro 4	Rotación frontal, con marca central atravesando el centro de la pelota	0,8 rps
Tiro 5	Rotación frontal, sin marca en el centro de la misma	0,6 rps
Tiro 6	Sin rotación aparente	0,3 rps

Mediando los errores de cálculo de todos los tiros de prueba efectuados, se obtuvo un error promedio de 0,74 rps.

# Pruebas - Tiempos de Procesamiento

La solución desarrollada trata de **minimizar los tiempos de procesamiento** con el objetivo de tornar mas dinámica la utilización de la aplicación. Esto se logra desechando los cuadros de los videos que no pertenecen al tiro en si mismo.

Un tiro libre típico tiene una duración no mayor a 1,5 segundos. De esta forma, la **cantidad de cuadros a procesar** en cuanto a los videos correspondientes al cálculo de trayectoria, **será cercano a los 150** (1,5 segundos \* 100 cuadros por segundo).

A esta cantidad se le debe adicionar el procesamiento de los cuadros pertenecientes al **video de rotación**. Si bien el cálculo de la velocidad de rotación se realiza en base a sólo tres cuadros, el mismo conlleva tareas adicionales como encontrar los cuadros ideales para la estimación y realizar el seguimiento de las marcas en el tiempo.



# Pruebas - Tiempos de Procesamiento

A continuación se presenta la lista de tiempos de procesamiento finales logrados, acorde a los casos vistos en las pruebas simuladas.

Nº Tiro	Tiempo de procesamiento (segundos)
Tiro 1	45,3
Tiro 2	51,4
Tiro 3	43,2
Tiro 4	43,7
Tiro 5	48,3
Tiro 6	47,0

Mediando los tiempos de procesamiento de todos los tiros se logró un tiempo de procesamiento promedio de 44,28 segundos.

Se realizaron pruebas con **videos comprimidos** mediante diversos codecs que, aunque aceleran notablemente el tiempo de respuesta, no satisfacen la precisión esperada en los resultados.



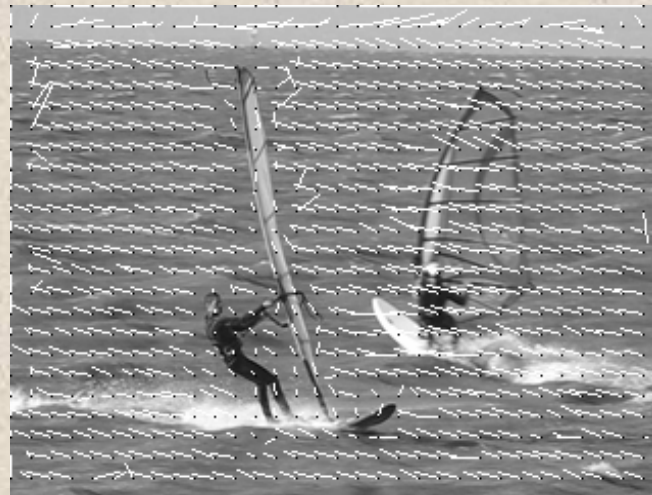
# Conclusiones

- Se ha desarrollado un **sistema informático completo** que permite obtener información espacial basándose en secuencias de video.
- Se ha logrado resolver una serie de inconvenientes referidos a la **interacción software/hardware** con el fin de cumplir los requerimientos especificados.
- Se diseñó un método de **cálculo de rotación a medida**.
- Se desarrolló un **entorno de captura, visualización y almacenamiento de tiros**.
- El sistema es totalmente **adaptable** a otras disciplinas deportivas.

# Conclusiones – Scanner 3D

Para el cálculo de rotación se estudiaron técnicas de correspondencia entre imágenes.

**Block Matching: Estimación de los vectores de movimiento entre imágenes.**



# Conclusiones – Scanner 3D

## Block Matching

Correspondencia de puntos  
entre dos imágenes.



## Calculo de Trayectoria

Triangulación de puntos.  
Estereoscopia.



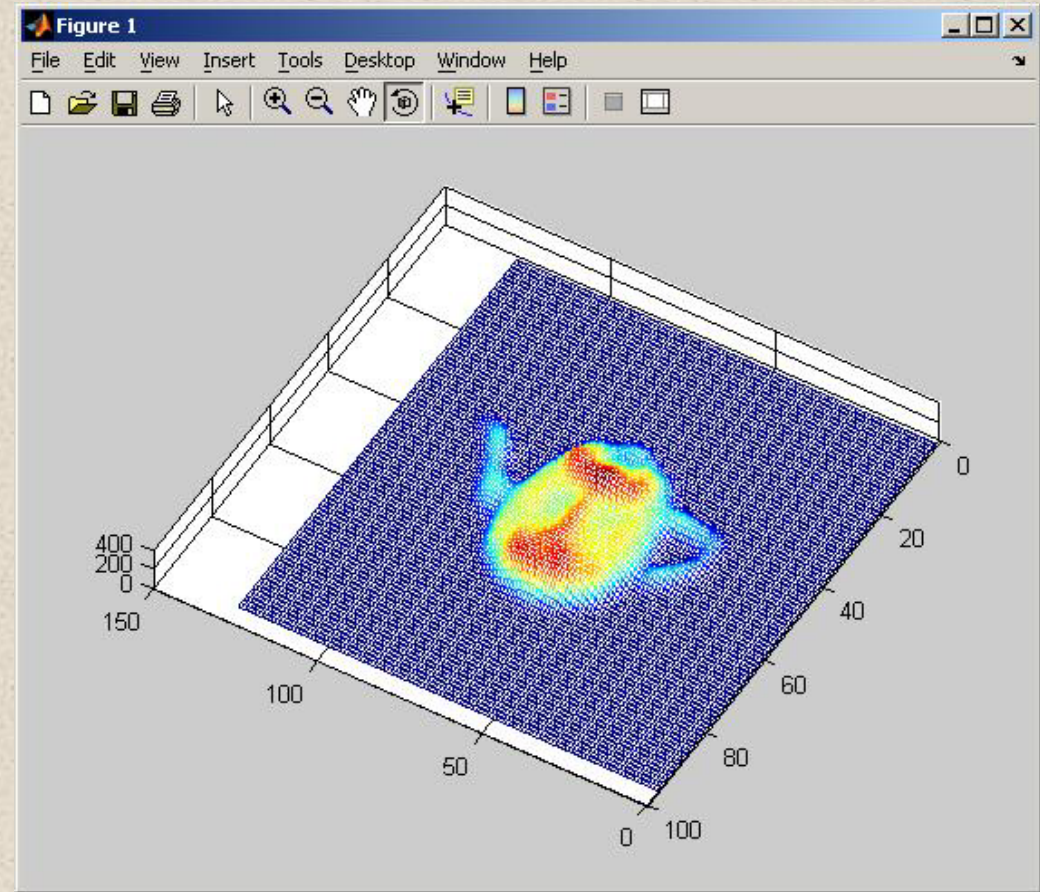
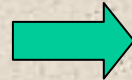
Automatizando  
e iterando

# Scanner 3D



# Conclusiones – Scanner 3D

## Scanner 3D

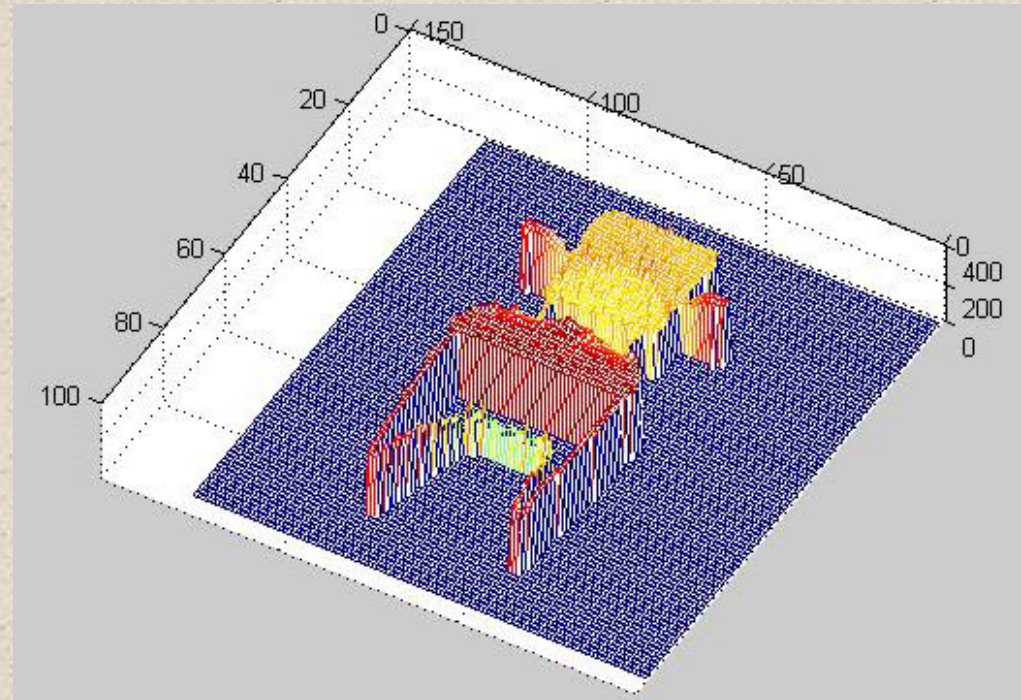




# Conclusiones – Scanner 3D



Scanner 3D



# Conclusiones – A futuro: Entorno 3D

Se piensa mejorar el entorno de reproducción de tiros y llevarlo a un **ambiente de reproducción 3D**.

El fin de esto es brindar una visualización de los tiros desde cualquier punto en el espacio, permitiendo así colocar cámaras virtuales desde un **sin fin de ubicaciones** para una mejor interpretación de los resultados.

Dicho entorno también podría ser utilizado para renderizar los objetos adquiridos mediante el Scanner 3D.

Gracias!