



Estimación de velocidad angular mediante video para ensayo de un nanosatélite en una jaula de Helmholtz

Agosto 2025

Guido Potente

UIDET SENyT

Facultad de ingeniería, UNLP

guido.potente@alu.ing.unlp.edu.ar

Francisco Nuñez

UIDET SENyT

Facultad de ingeniería, UNLP

francisco.nuñez@ing.unlp.edu.ar

Elián Hanisch

UIDET SENyT

Facultad de ingeniería, UNLP

elian.hanisch@ing.unlp.edu.ar

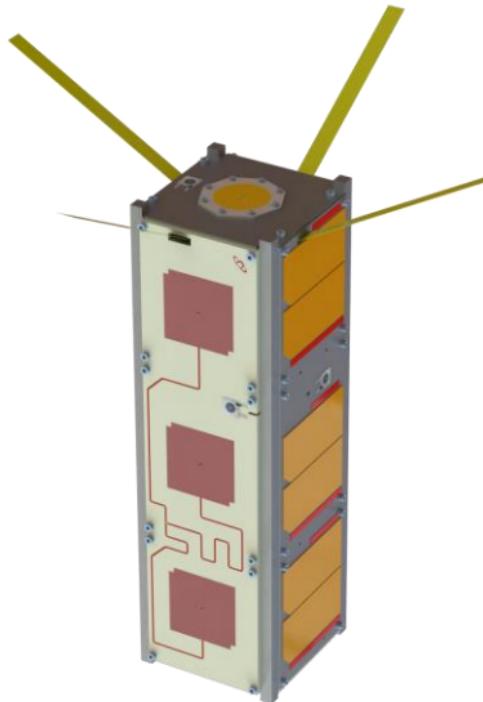
USAT-1

ADCS

Subsistema de determinación y control de orientación.

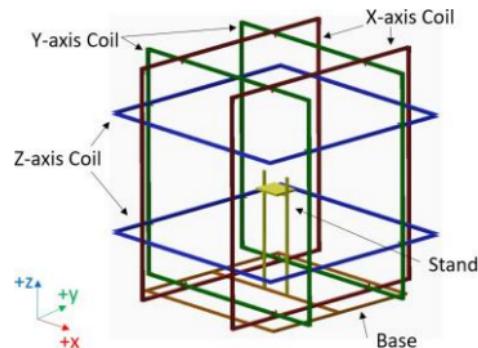


- Condiciones para el ensayo:
 - (a): **Rotación del satélite minimizando rozamiento.**
 - (b): **Medición de orientación o velocidad angular sin perturbación.**



Rotación sin rozamiento

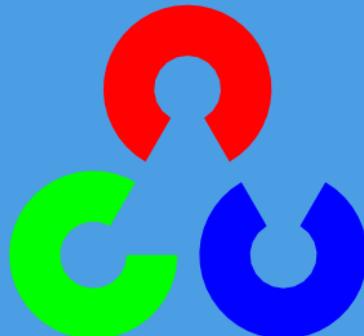
Jaula de Helmholtz:



Suspensión por hilo

Medición de velocidad

Procesamiento de imágenes

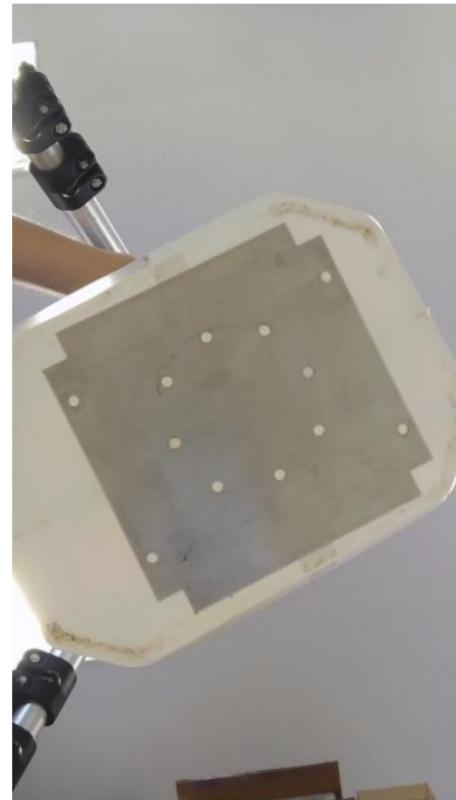


Desarrollo

☒ Objetivo

Utilizar marcas para seguir el movimiento de la placa.

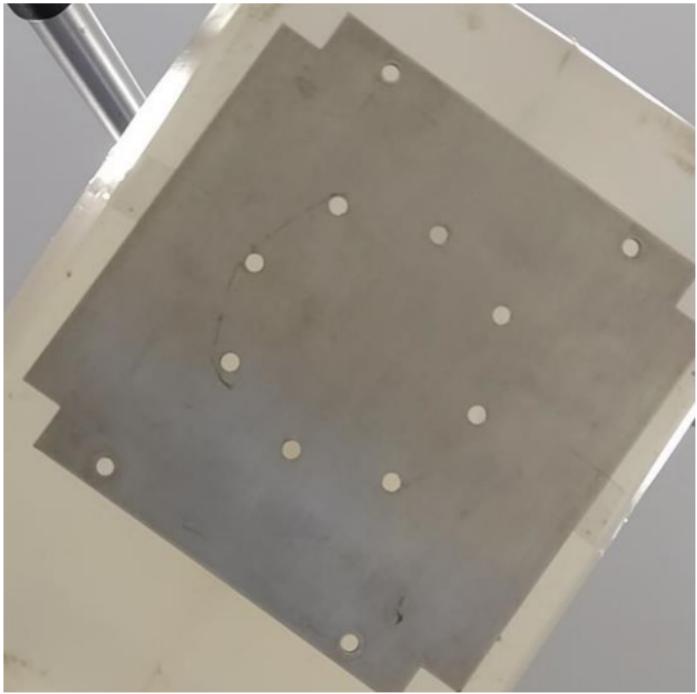
1. **Filtrar la imagen** para mejorar reconocimiento de *OpenCV*.
2. Obtener *contornos* y eliminar aquellos que no sean las marcas.
3. **Calcular el centro** de la cara.
4. **Obtener velocidad instantánea**.
5. Reducir ruido de las estimaciones.



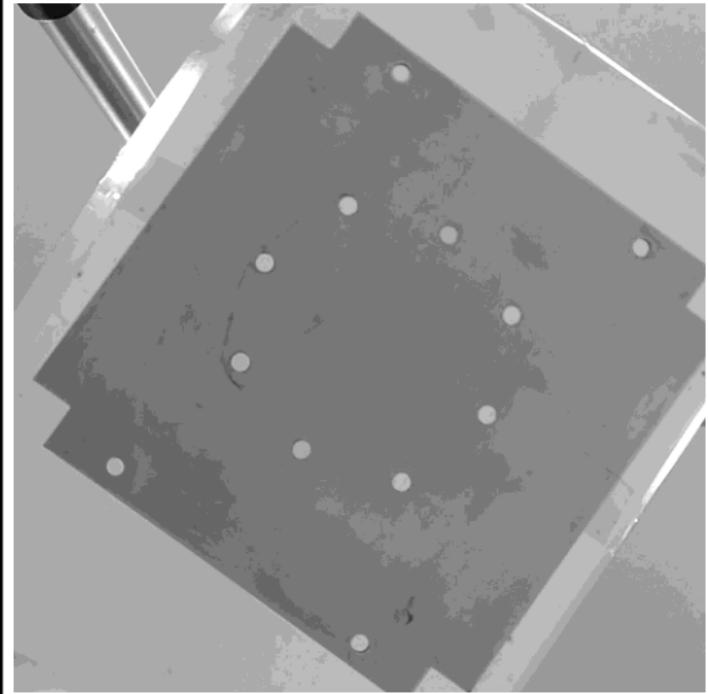
Filtros preliminares - escala de grises

5 / 17

Original



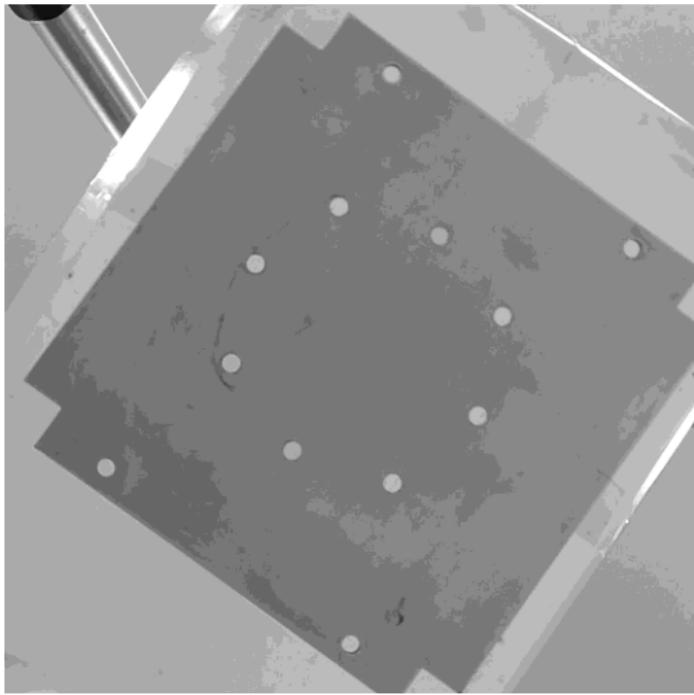
Escala de grises



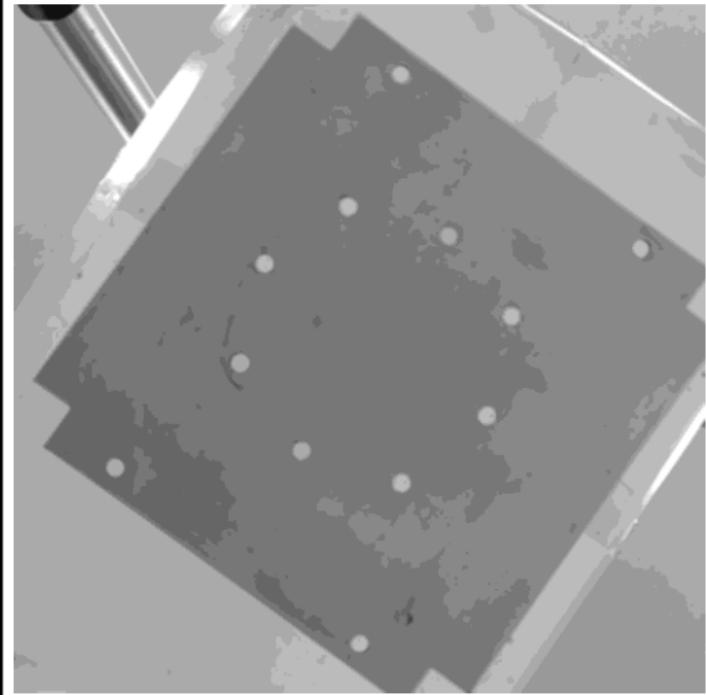
Filtros preliminares - difuminado

6 / 17

Escala de grises



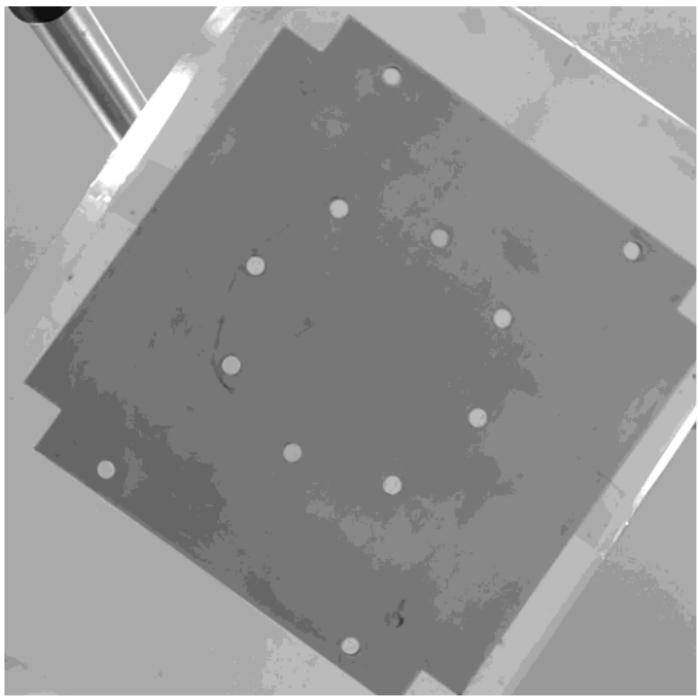
Difuminado



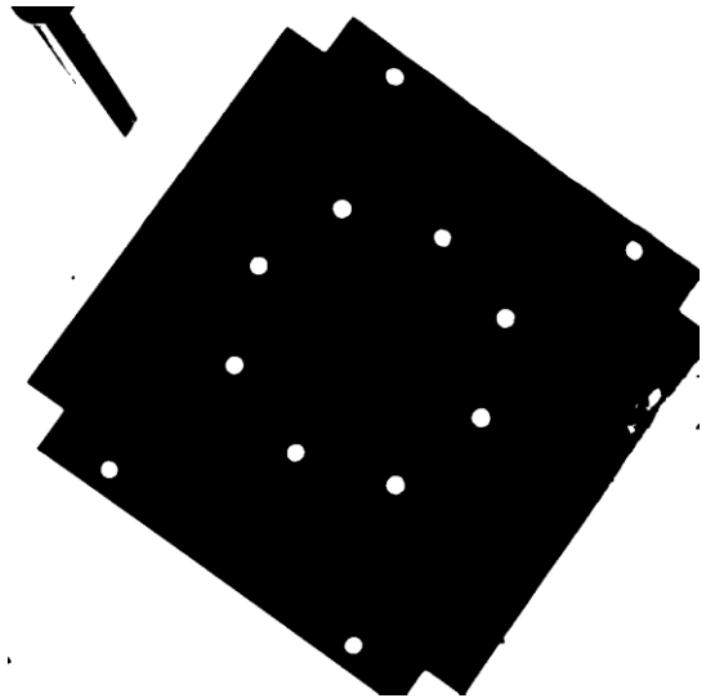
Filtros preliminares - Thresholding

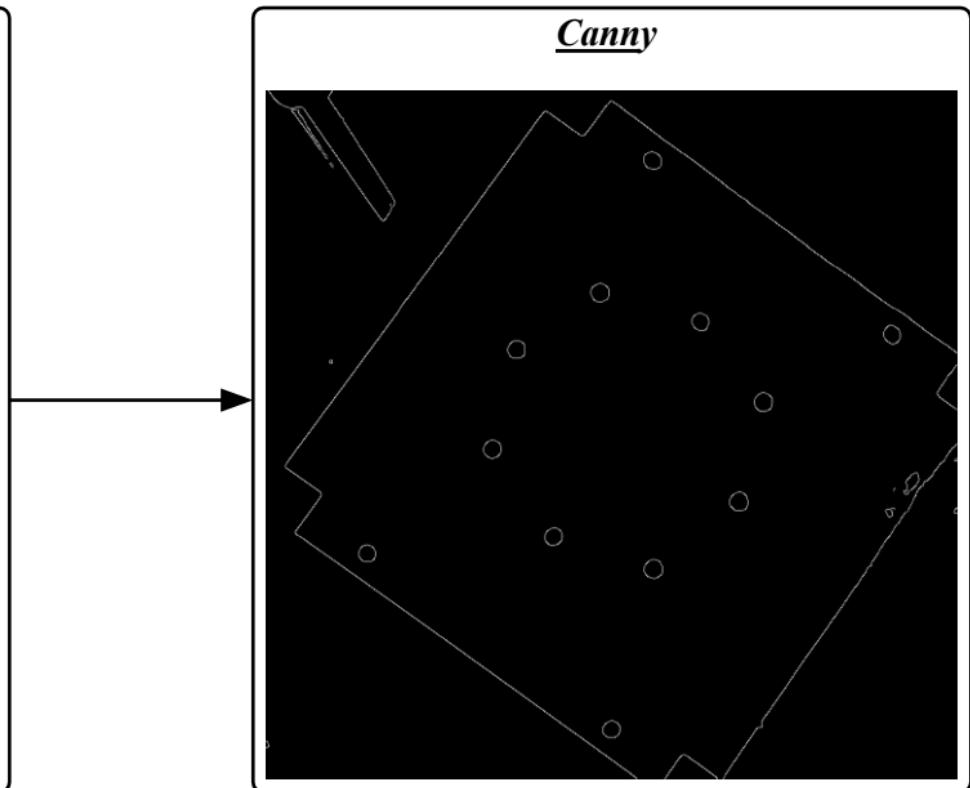
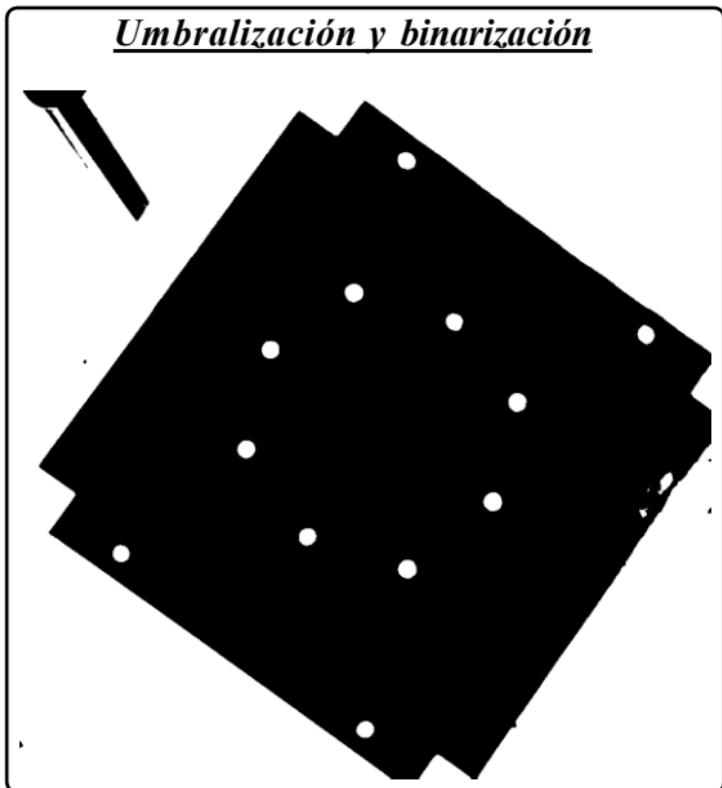
7 / 17

Escala de grises



Umbralización y binarización





Selección de contornos

1. Umbral de dimensiones

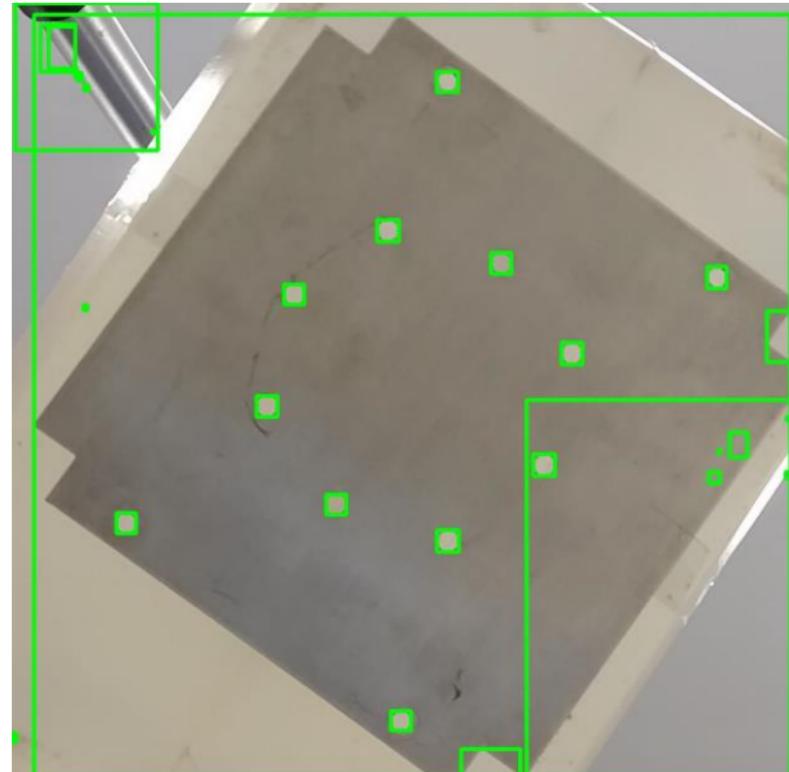
Sea un contorno de dimensiones (w, h) :

$$w \in [w_{\min}, w_{\max}] \quad \wedge \quad h \in [h_{\min}, h_{\max}]$$

2. Anillo limite

Solo los contornos dentro de un anillo umbral:

$$r \in [r_{\min}, r_{\max}]$$

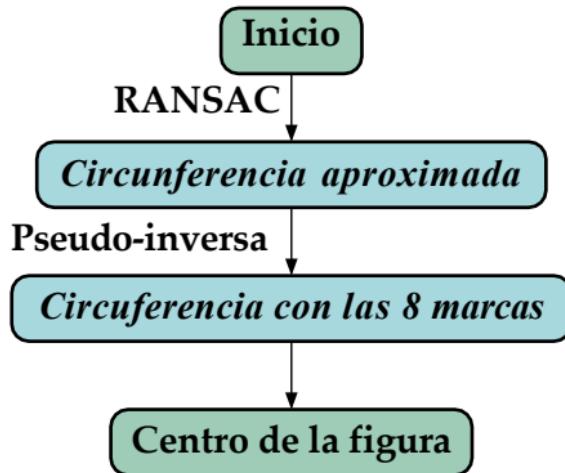


Centro de la cara



¿Como obtener el centro?

La circunferencia formada por las 8 marcas internas es concentrica a la figura.



Calculo del centro



Circunferencia con 3 puntos

$$\begin{bmatrix} 2x_1 & 2y_1 & 1 \\ 2x_2 & 2y_2 & 1 \\ 2x_3 & 2y_3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(x_1^2 + y_1^2) \\ -(x_2^2 + y_2^2) \\ -(x_3^2 + y_3^2) \end{bmatrix}$$

De modo que:

$$(x_c, y_c) = (-a, -b) \quad \wedge \quad r = \sqrt{x_c^2 + y_c^2 - c}$$



i Circunferencia con N puntos

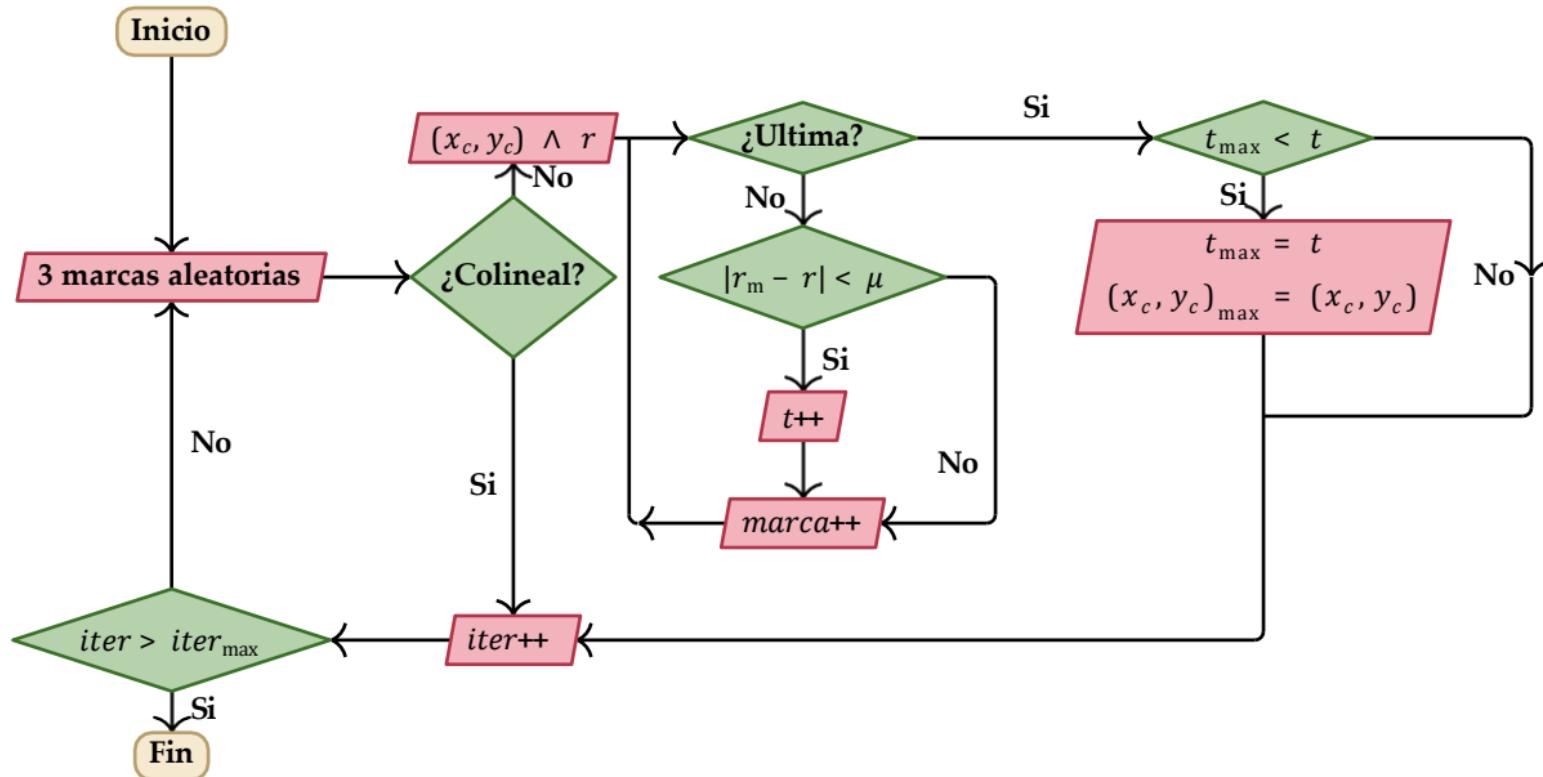
$$\underbrace{\begin{bmatrix} 2x_1 & 2y_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 2x_N & 2y_N & 1 \end{bmatrix}}_A \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} -(x_1^2 + y_1^2) \\ \vdots \\ -(x_N^2 + y_N^2) \end{bmatrix}}_B$$

Usando la pseudo-inversa de A :

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = (A^T A)^{-1} A^T B$$

RANSAC - Diagrama de flujo

12 / 17



Resultados del centro



Recapitulando:

- Filtrar la imagen** para mejorar reconocimiento de *OpenCV*.
- Obtener *contornos* y eliminar aquellos que no sean las marcas.
- Calcular el centro** de la cara.
- Obtener velocidad instantánea.**
- Reducir ruido de las estimaciones.

Velocidad instantánea

Outsiders

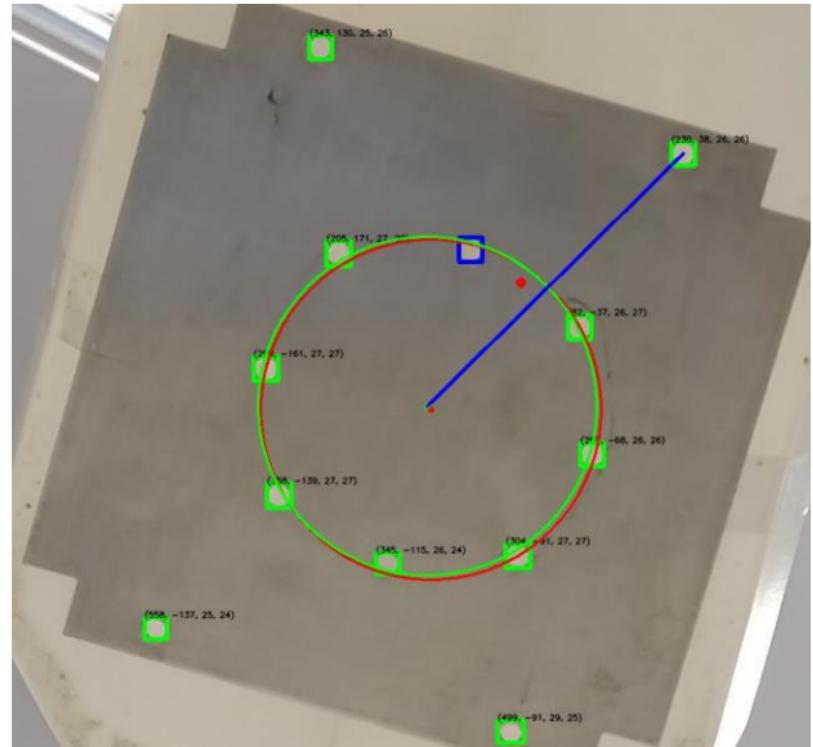
Las marcas que **no** forman parte de la circunferencia.

Pasando a coordenadas polares:

$$\min(\arg(\theta_i^c) - \arg(\theta_{i-1}^c)) = \Delta\theta^c$$

Finalmente la **velocidad instantánea** es:

$$\frac{\Delta\theta^c}{T_s} = \omega_{ins}$$



No utilizamos la velocidad instantánea, sino el ángulo θ_i y calculamos su derivada ω .



1. Promedio móvil de 15 muestras

$$\hat{\theta}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=i}^{i-N} \theta_k \quad \wedge \quad N = 15$$



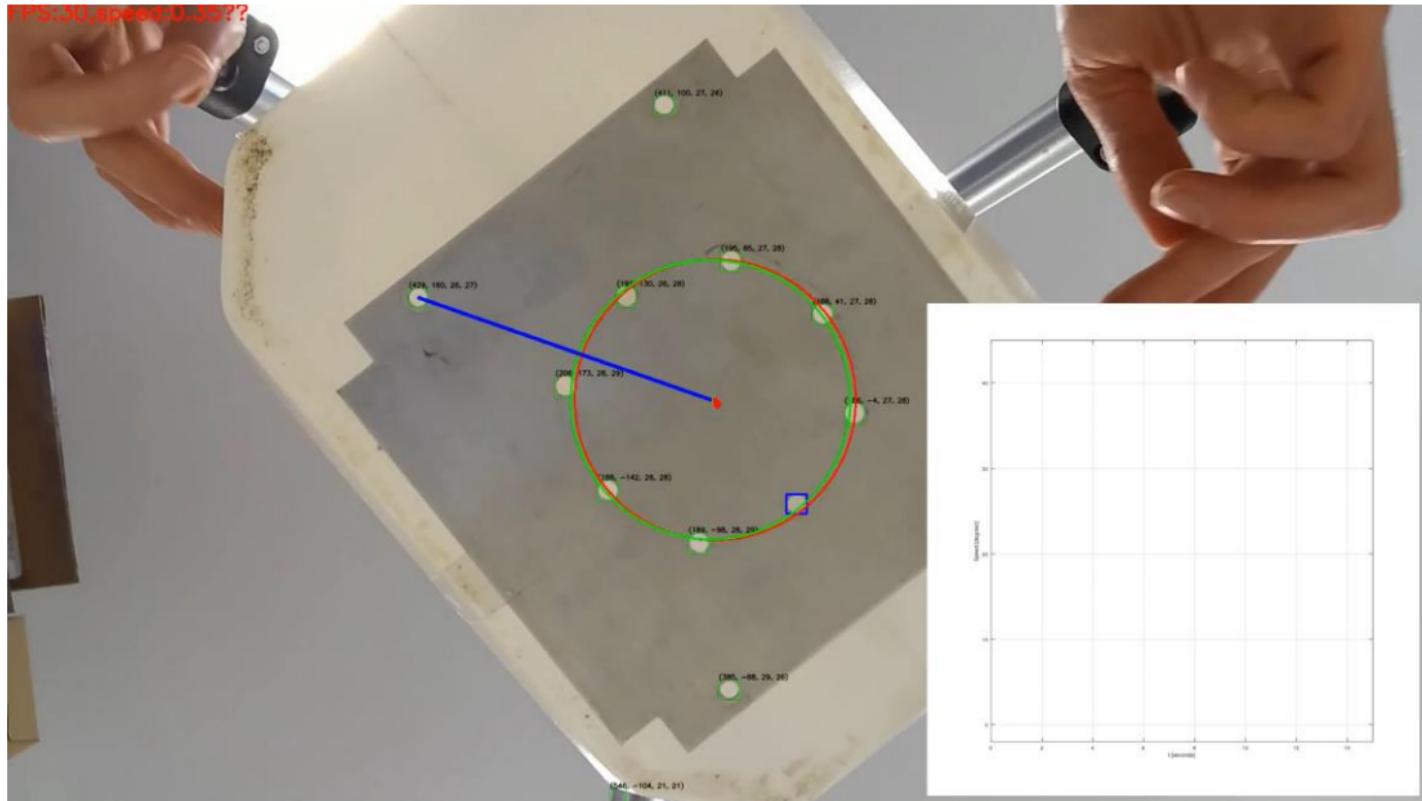
2. Diferencias finitas

$$\omega \approx \frac{25\hat{\theta}_i - 48\hat{\theta}_{i-1} + 36\hat{\theta}_{i-2} - 16\hat{\theta}_{i-3} + 3\hat{\theta}_{i-4}}{12h}$$

Error del orden $O(h^4)$ que a $T_s = \frac{1}{30}s$ es 1.23×10^{-6} .

Resultados finales

16 / 17



- Fue posible estimar la velocidad angular.
- Los resultados son coherentes con lo esperado.
- Se demostró la factibilidad de utilizar este método para estimar velocidades angulares.