



FACULTAD
DE INGENIERÍA



SENYT

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

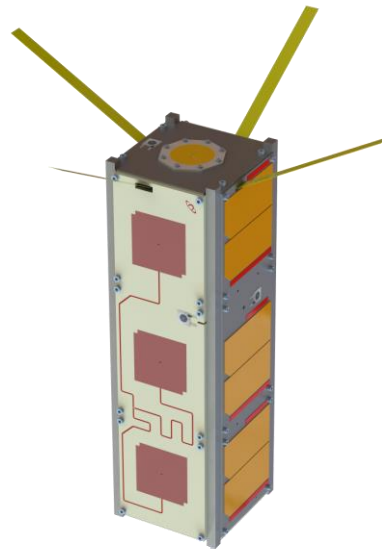
elian.hanisch@ing.unlp.edu.ar

ADCS

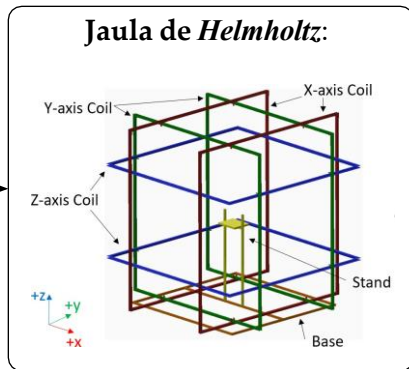
Subsistema de determinación y control de orientación.



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



Rotación sin rozamiento



Suspensión por hilo

Medición de velocidad

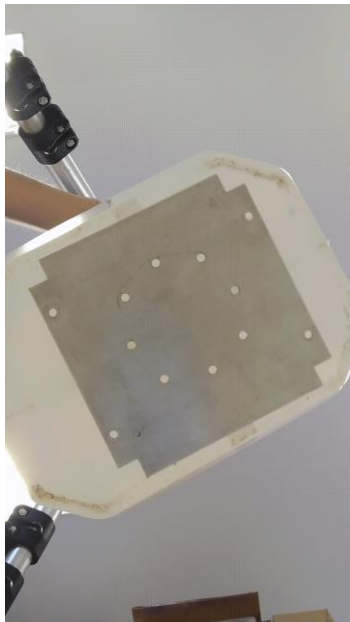
Procesamiento de imagenes



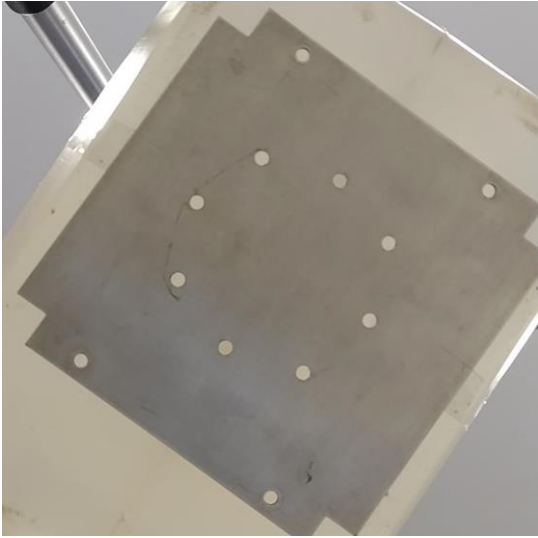
Objetivo

Utilizar marcas para seguir el movimiento de la placa.

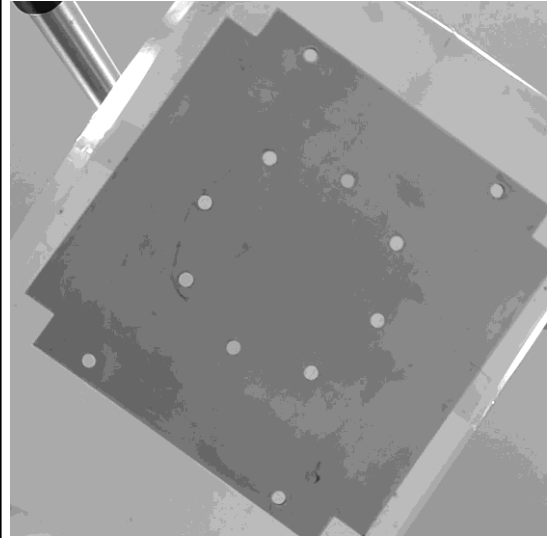
1. **Filtrar la imagen** para mejorar reconocimiento de *OpenCV*.
2. Obtener *contornos* y eliminar aquellos que no sean las marcas.
3. **Calcular el centro** de la cara.
4. **Obtener velocidad instantanea.**
5. Reducir ruido de las estimaciones.



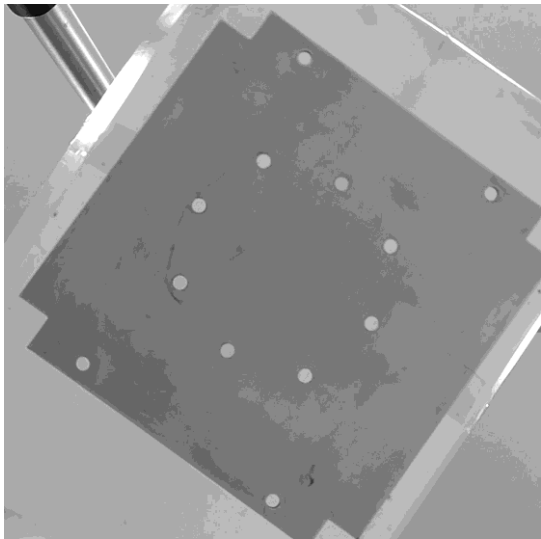
Original



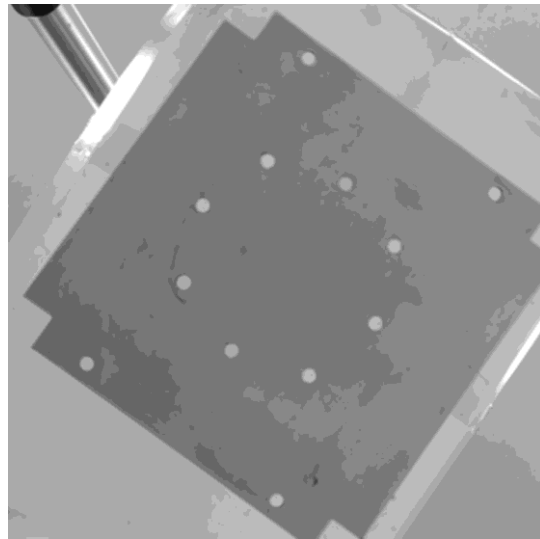
Escala de grises



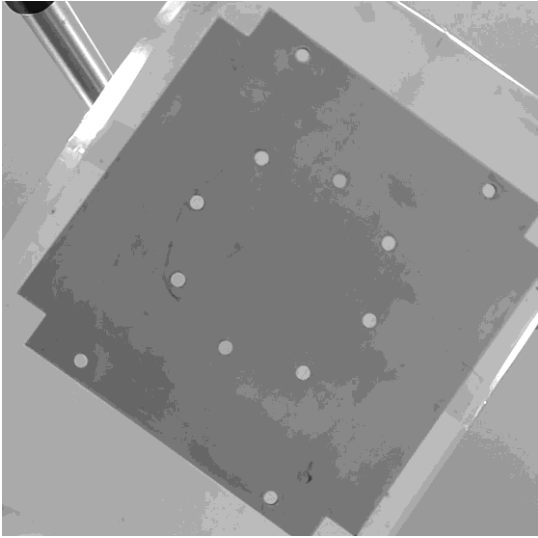
Escala de grises



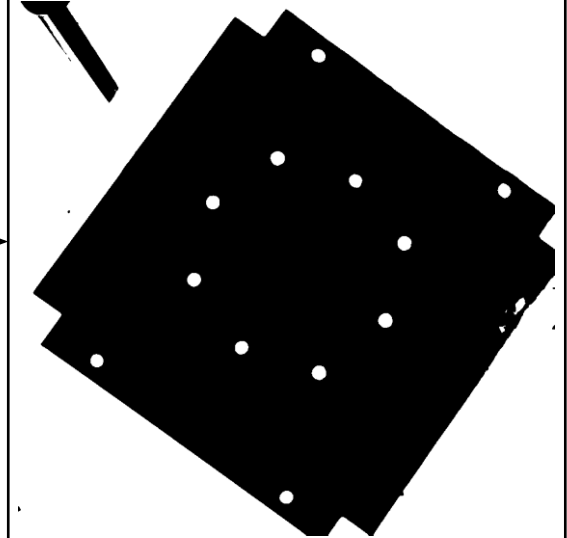
Difuminado

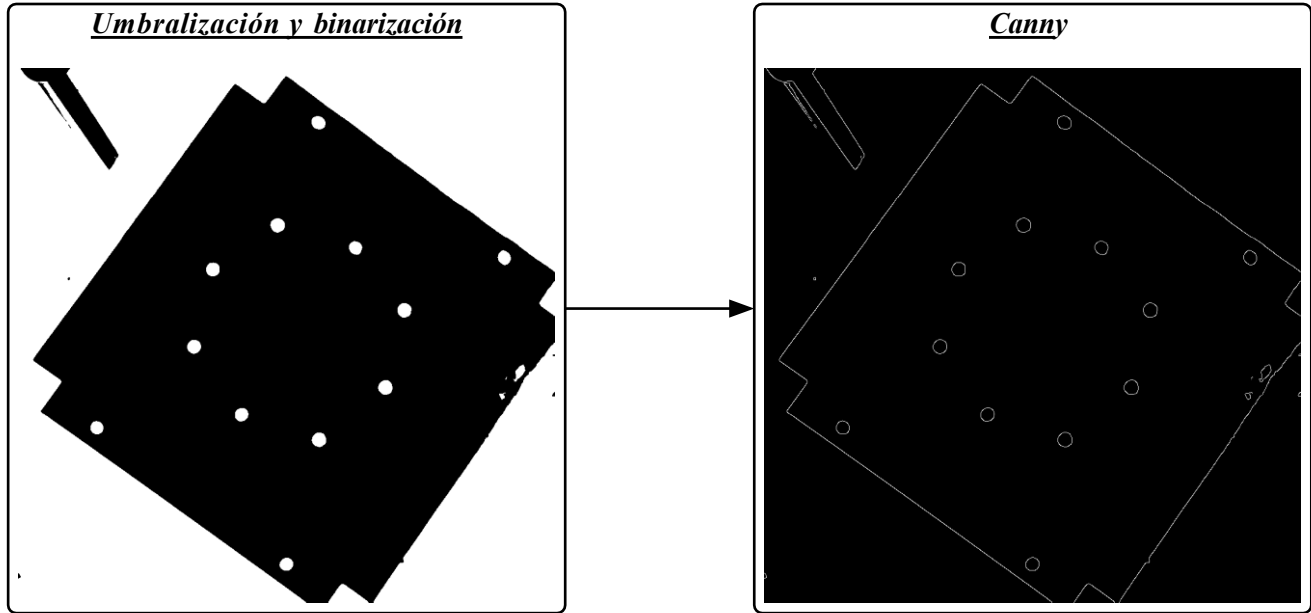


Escala de grises



Umbralización y binarización





1. Umbral de dimensiones

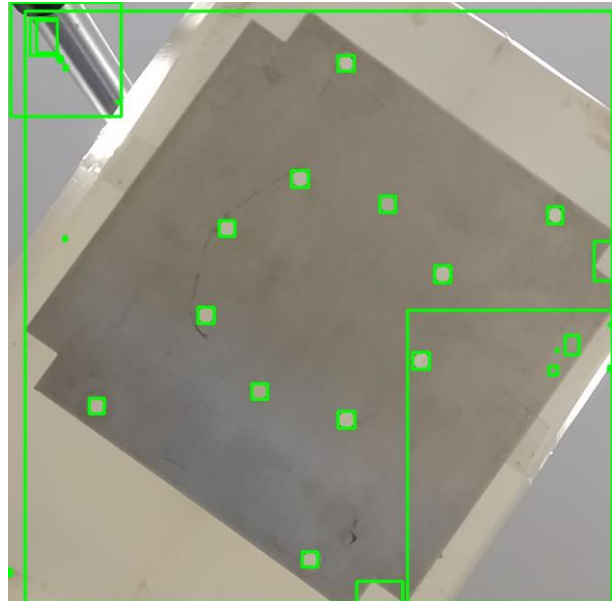
Sea un contorno de dimensiones (w, h) :

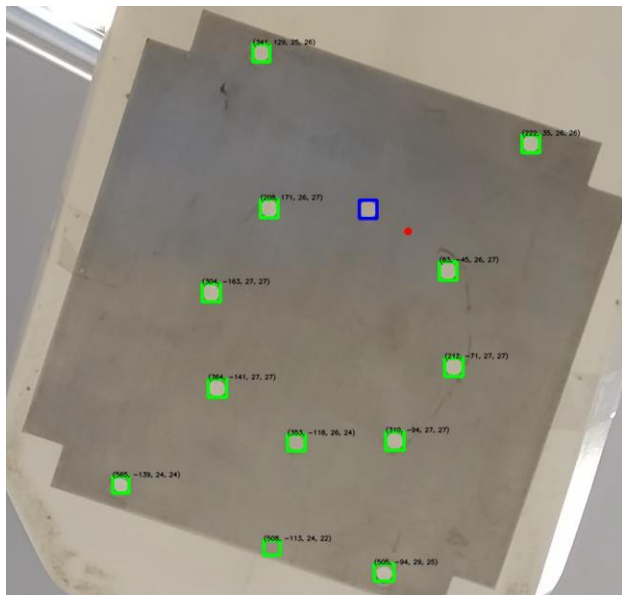
$$w \in [w_{\min}, w_{\max}] \wedge h \in [h_{\min}, h_{\max}]$$

2. Anillo limite

Solo los contornos dentro de un anillo umbral:

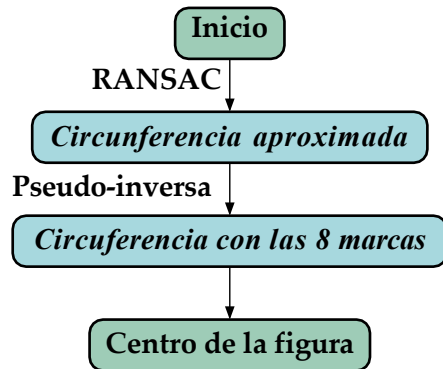
$$r \in [r_{\min}, r_{\max}]$$





¿Como obtener el centro?

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





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:

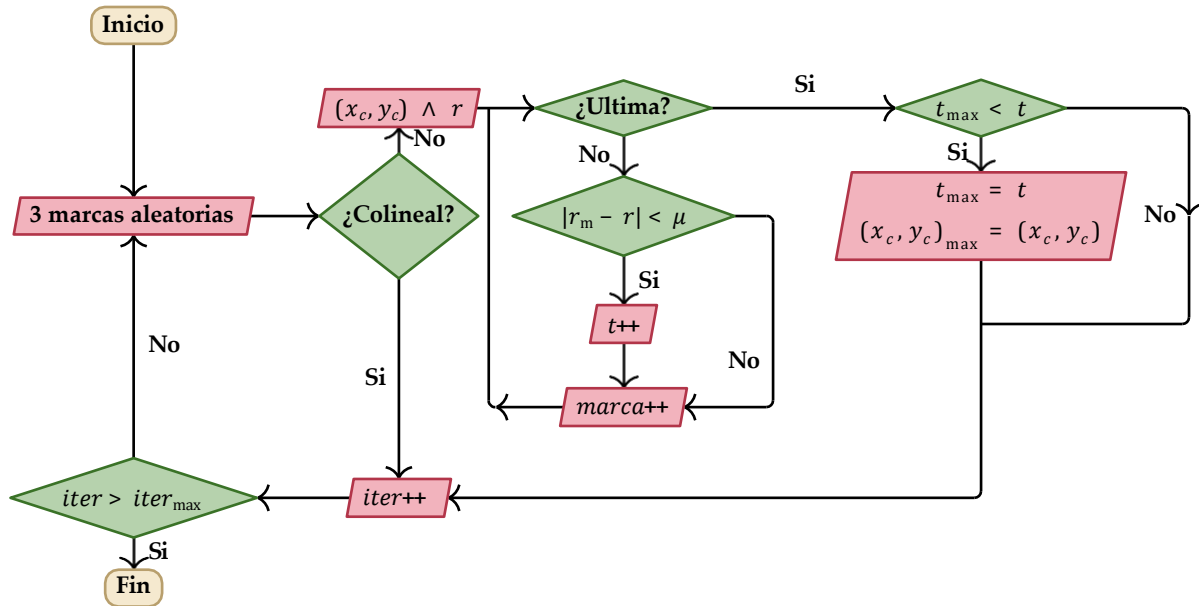
$$(x_c, y_c) = (-a, -b) \wedge r = \sqrt{x_c^2 + y_c^2 - c}$$

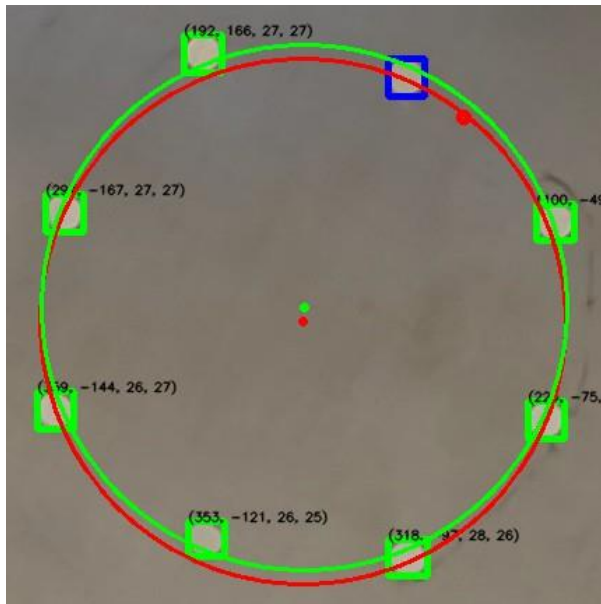
i Circunferencia con N puntos

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

Usando la pseudo-inversa de A :

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





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 instantanea**.
- ☐ Reducir ruido de las estimaciones.

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 instantanea** es:

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



No utilizamos la velocidad instantanea, sino el angulo θ_i y calculamos su derivada ω .



1. Promedio movil de 15 muestras

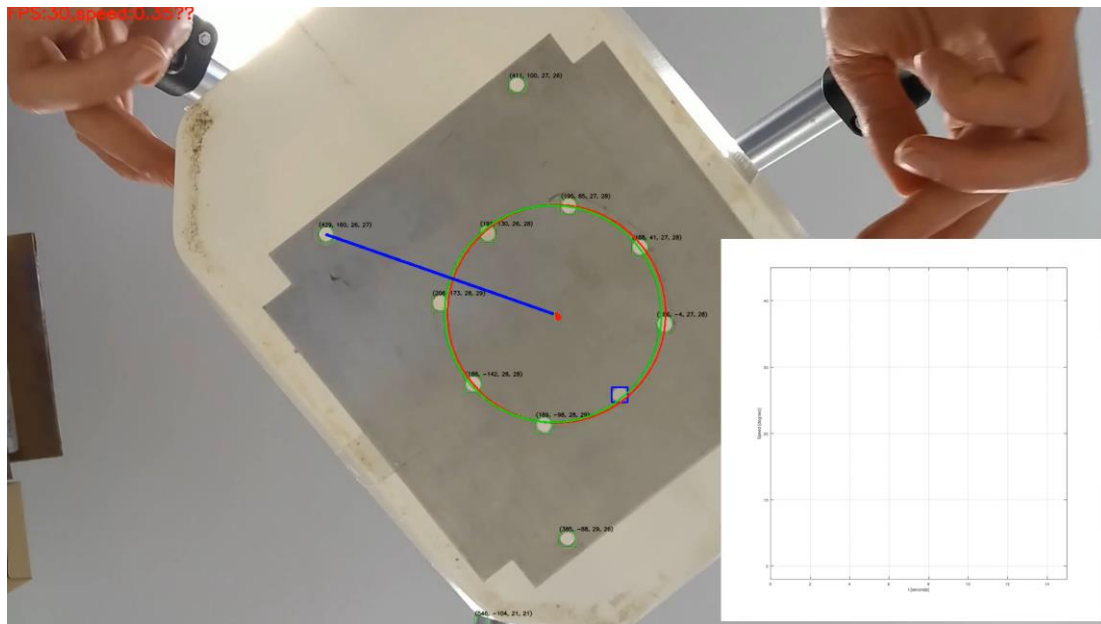
$$\hat{\theta}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=i}^{i-N} \theta_k \wedge N = 15$$



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} .



- **Fue posible estimar la velocidad angular.**
- **Los resultados son coherentes con lo esperado.**
- **Se demostro la factibilidad de utilizar este metodo para estimar velocidad angulares.**