

Análisis e implementación de un algoritmo de tratamiento en tiempo real de la Singularidad del hombro en un Robot Industrial

Tratamiento de la singularidad en un robot industrial

MANIPULADOR INDUSTRIAL



- **Robot industrial utilizado**
 - IRB-140 . ABB SA
- **Programable**
- **Comunicación con aplicación externa**
- **Seis grados de libertad (DOF)**
 - Tres de posición
 - Tres de orientación

- **Límite del espacio de trabajo**

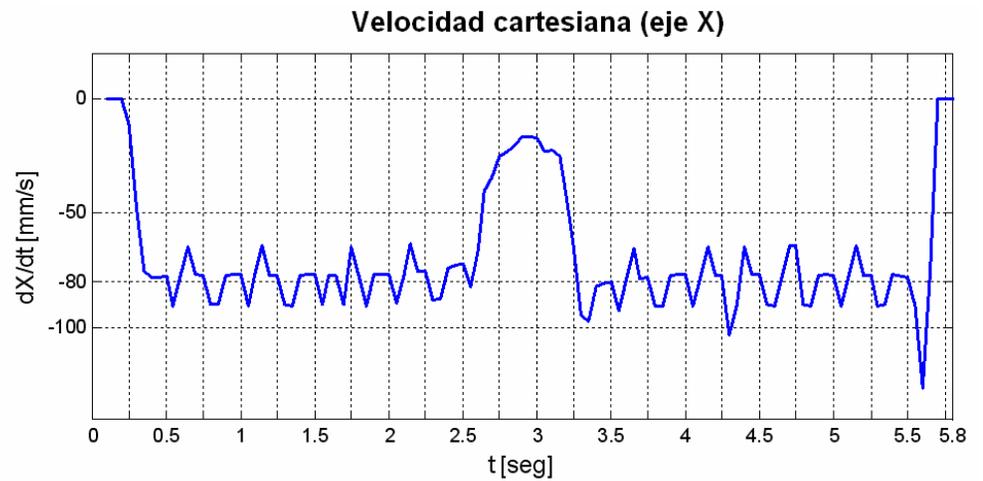
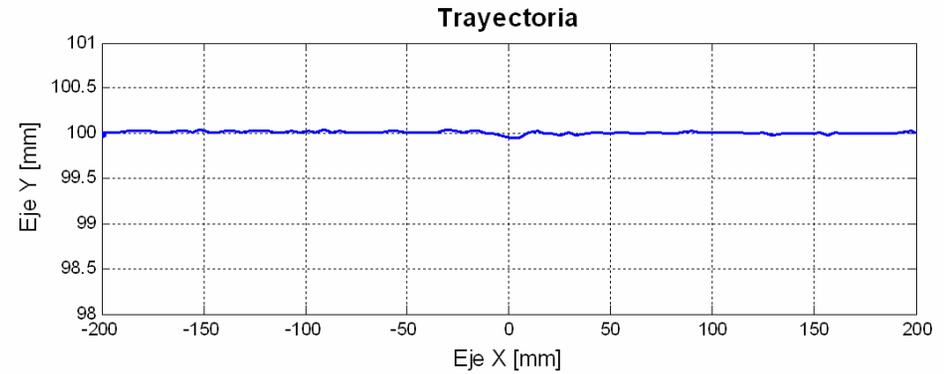
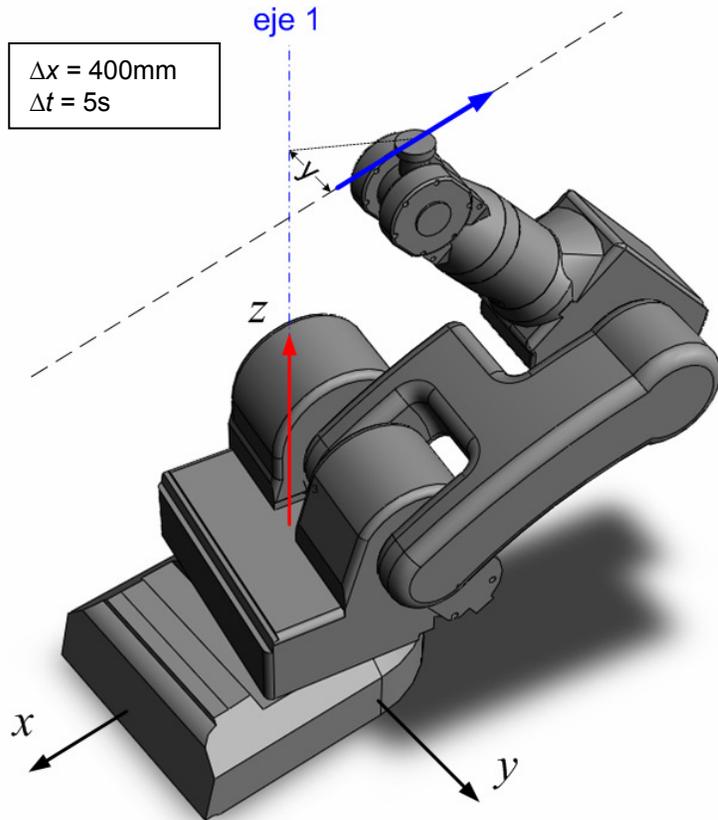
$$\theta_{i\min} \leq \theta_i \leq \theta_{i\max}$$

- **Límite de velocidades articulares**

$$\dot{\theta}_i \leq \dot{\theta}_{i\max}$$

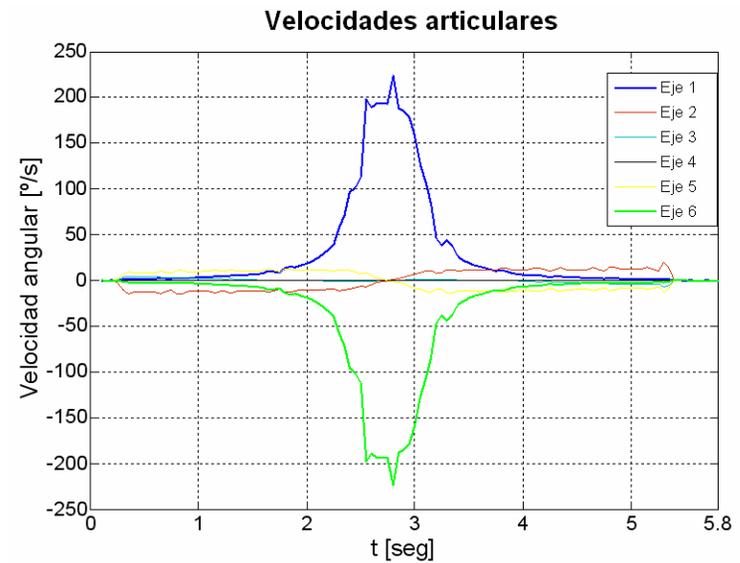
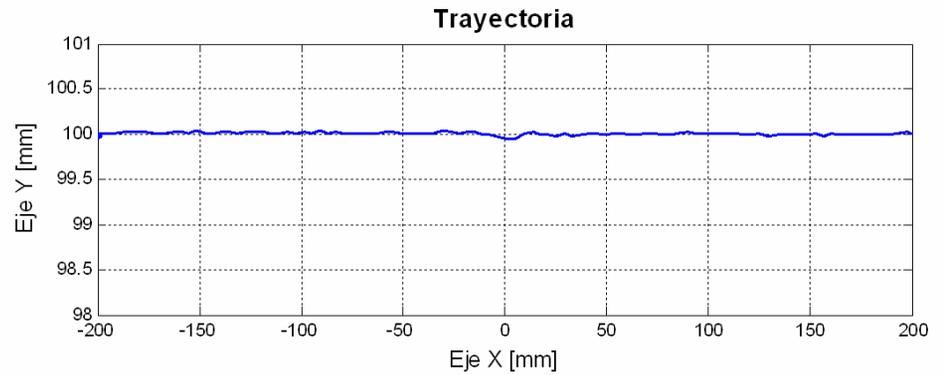
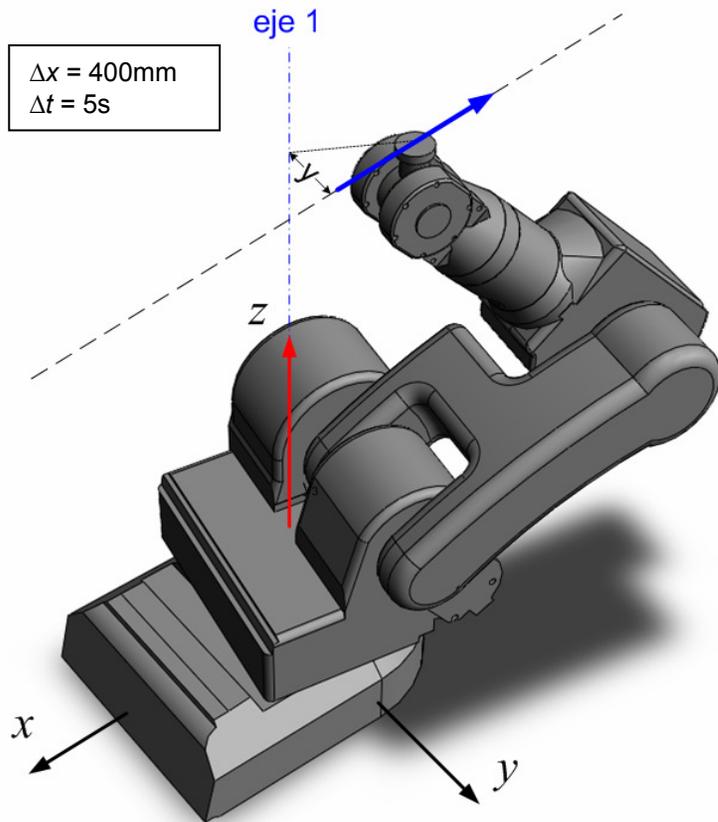
Tratamiento de la singularidad en un robot industrial

EJEMPLO: ESPACIO CARTESIANO



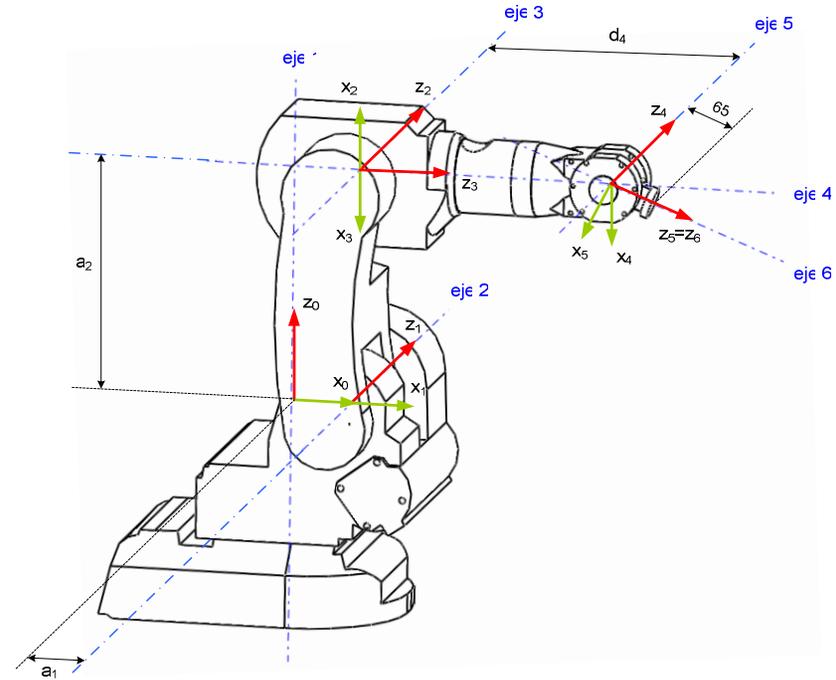
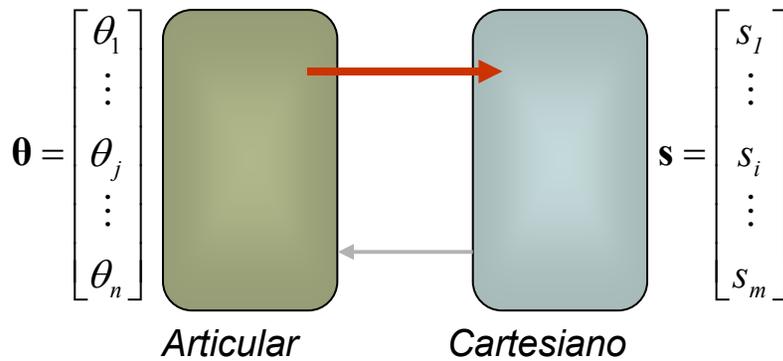
Tratamiento de la singularidad en un robot industrial

EJEMPLO: ESPACIO CARTESIANO



Tratamiento de la singularidad en un robot industrial

PROBLEMA DIRECTO



Posicion

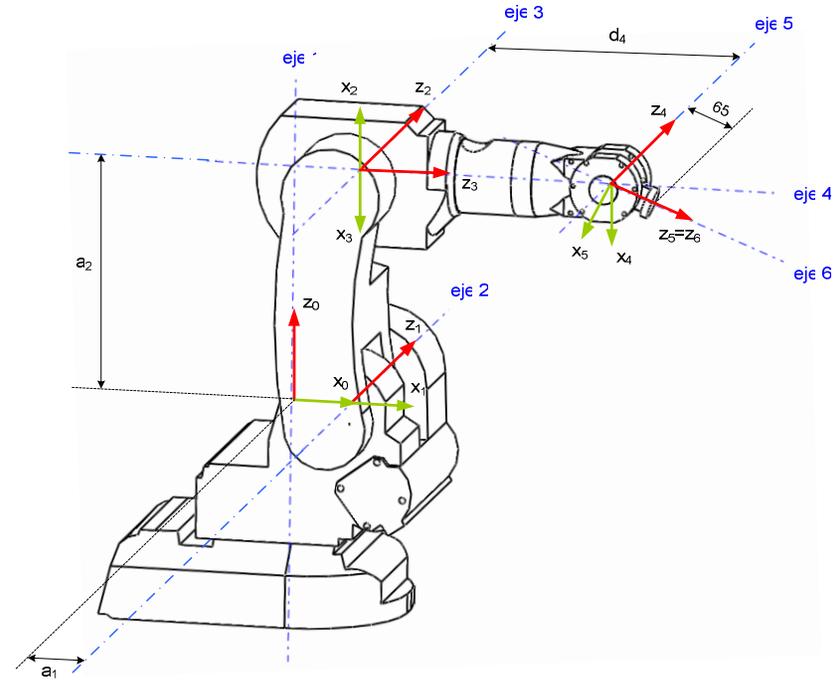
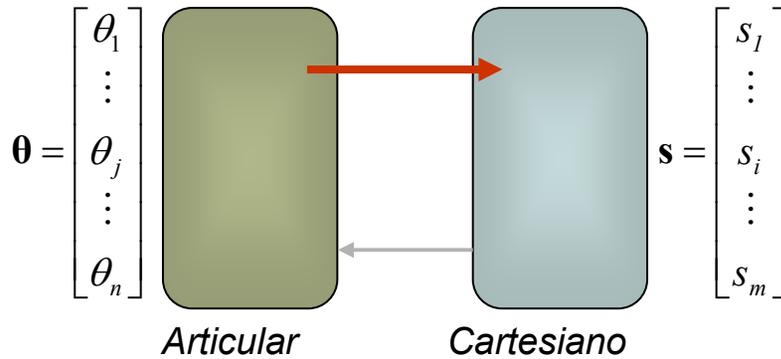
$$\mathbf{A}_{i-1}^i = \begin{bmatrix} \mathbf{n} & \mathbf{s} & \mathbf{a} & \Delta \mathbf{p} \\ \mathbf{0} & & & 1 \end{bmatrix} = f(\theta_i)$$

Velocidad

$$\dot{\mathbf{s}} = \mathbf{J}(\theta) \dot{\theta} \longleftarrow \mathbf{J}(\theta) = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial \theta} = \begin{bmatrix} \frac{\partial s_1}{\partial \theta_1} & \frac{\partial s_1}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial s_1}{\partial \theta_n} \\ \frac{\partial s_2}{\partial \theta_1} & \frac{\partial s_2}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial s_2}{\partial \theta_n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial s_m}{\partial \theta_1} & \frac{\partial s_m}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial s_m}{\partial \theta_n} \end{bmatrix}$$

Tratamiento de la singularidad en un robot industrial

PROBLEMA DIRECTO



Posicion

$$\Delta s \cong \mathbf{J}(\theta) \Delta \theta$$



Pseudoinversa

$$\Delta \theta = \mathbf{J}^+ \Delta s$$

Velocidad

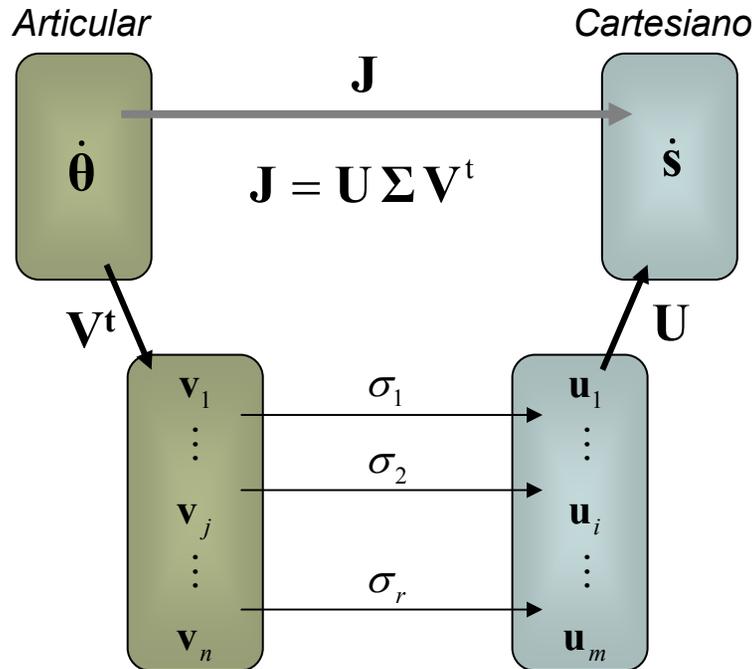
$$\dot{s} = \mathbf{J}(\theta) \dot{\theta}$$

- Minimiza $\|\Delta s - \mathbf{J} \Delta \theta\|$
- No resuelve el problema**



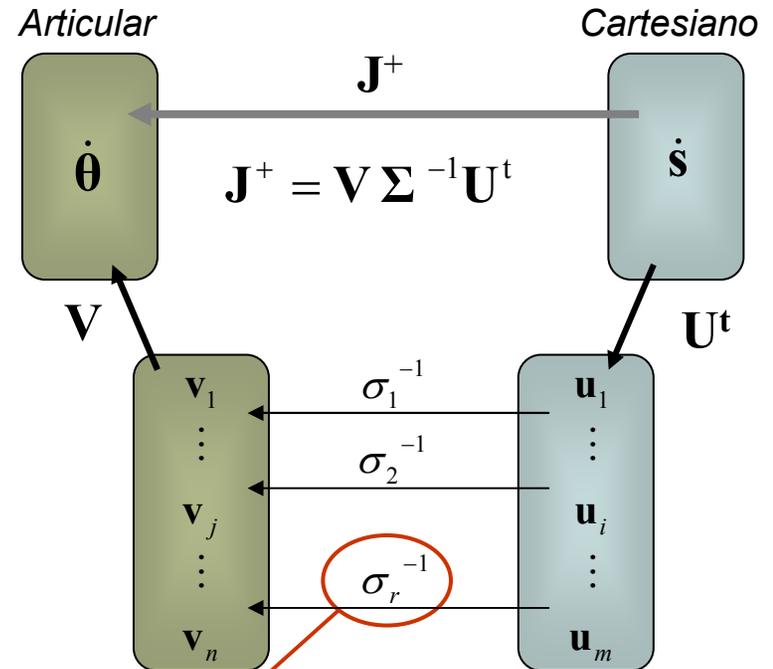
Tratamiento de la singularidad en un robot industrial

DVS. PROBLEMA DIRECTO



$$\dot{\mathbf{s}} = \sum_{i=1}^r \sigma_i \mathbf{u}_i \mathbf{v}_i^t \dot{\theta}$$

DVS. PROBLEMA INVERSO



$$\dot{\theta} = \sum_{i=1}^r \sigma_i^{-1} \mathbf{v}_i \mathbf{u}_i^t \dot{\mathbf{s}}$$

Produce cambios bruscos en la velocidad si

$$\sigma_i^{-1} (\mathbf{u}_i^t \dot{\mathbf{s}}) \rightarrow \infty$$

Tratamiento de la singularidad en un robot industrial

DUMPED LEAST SQUARES

Pseudoinversa

$$\|\Delta \mathbf{s} - \mathbf{J} \Delta \boldsymbol{\theta}\|$$

$$\downarrow \mathbf{J}^+$$

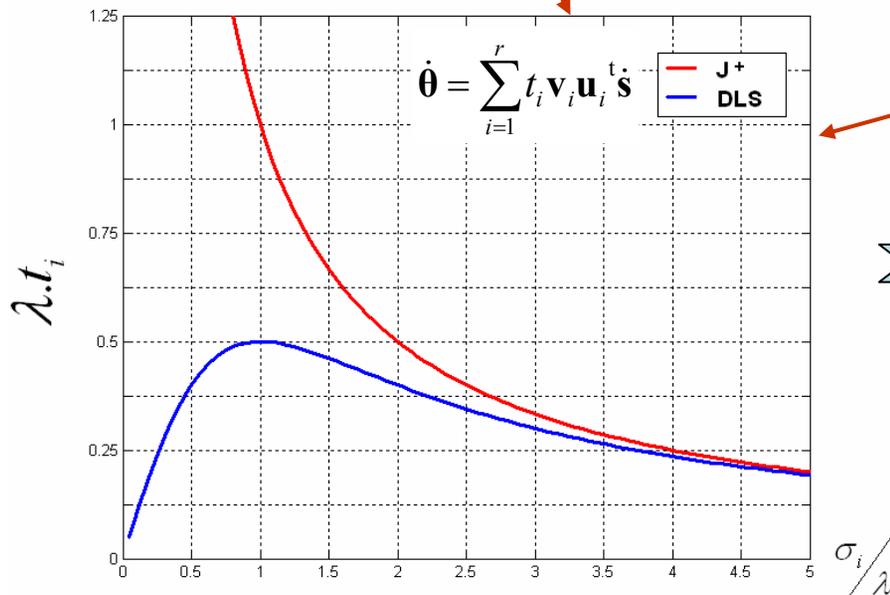
$$\dot{\boldsymbol{\theta}} = \sum_{i=1}^r \sigma_i^{-1} \mathbf{v}_i \mathbf{u}_i^t \dot{\mathbf{s}}$$

Minimos cuadrados amortiguados

$$\|\Delta \mathbf{s} - \mathbf{J} \Delta \boldsymbol{\theta}\|^2 + \lambda^2 \|\Delta \boldsymbol{\theta}\|^2 = \left\| \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{s} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mathbf{J} \\ \lambda \mathbf{I}_n \end{bmatrix} \Delta \boldsymbol{\theta} \right\|^2$$

$$\downarrow \begin{bmatrix} \mathbf{J} \\ \lambda \mathbf{I}_n \end{bmatrix}^+$$

$$\dot{\boldsymbol{\theta}} = \sum_{i=1}^r \frac{\sigma_i}{\sigma_i^2 + \lambda^2} \mathbf{v}_i \mathbf{u}_i^t \dot{\mathbf{s}}$$



Possible method to address the problem

Tratamiento de la singularidad en un robot industrial

Problema planteado

- Inestabilidad y excesiva velocidad articular en las inmediaciones de una singularidad

Dumped Least Squares

- Minimiza $\|\Delta s - J\Delta\theta\|^2 + \lambda^2\|\Delta\theta\|^2$
- Elimina la inestabilidad de la *pseudoinversa*

- Resuelve el problema ??



Obtención del factor de amortiguamiento

- En función de la distancia a la singularidad
- En función de la dirección singular
- Etc.

Métodos de prueba

- Simulación de diversas trayectorias en MatLab
- Ejecutar las trayectorias en el IRB-140

Ensayo de otros algoritmos

- Comparación con DLS

