



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

Control de Rotación Autónoma de un Robot Rueda Esférica tipo Omnidireccional para Tareas de Desplazamiento

Autoras:

Vilma Johana Basantes Basantes
Gabriela Alexandra Bautista Reinoso

Director:

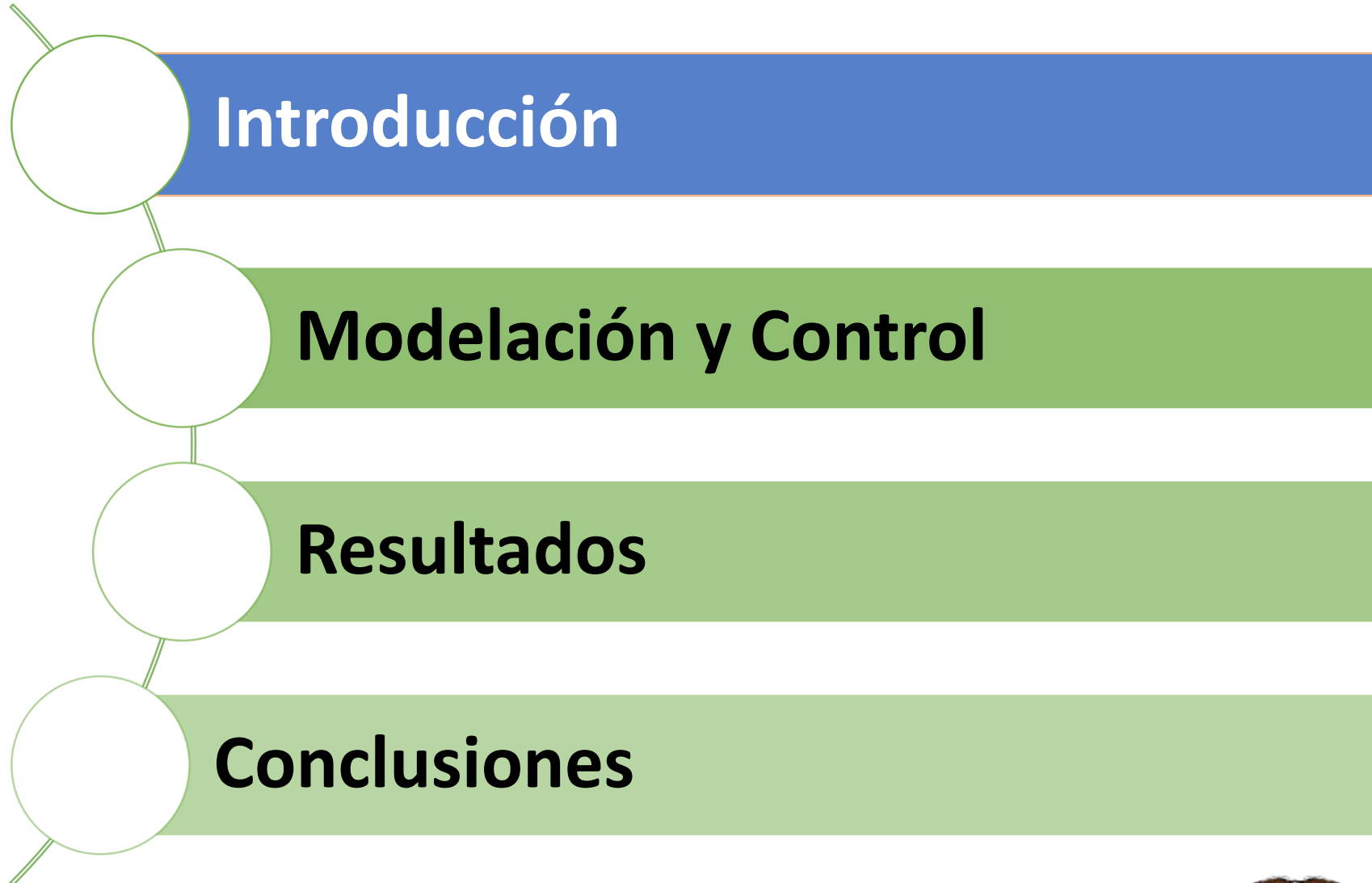
PhD. Víctor Andaluz



AGENDA

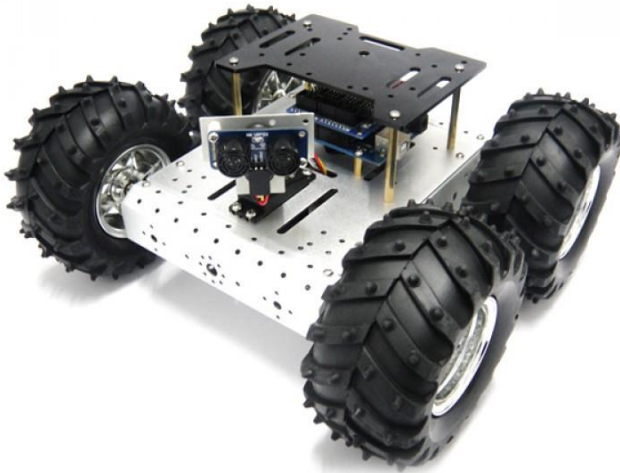


AGENDA



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- La mayoría de robots omnidireccionales giran sobre un único eje perpendicular al plano de rotación de la rueda, es decir una rueda convencional no cuenta con un sistema de control autónomo para tareas de desplazamiento, lo cual proporciona un menor grado de maniobrabilidad.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- El desgaste de las ruedas de un robot omnidireccional es significativo, debido a la fricción generada entre ésta y la superficie de contacto, además el espacio que necesita el sistema para conseguir un cambio de dirección.



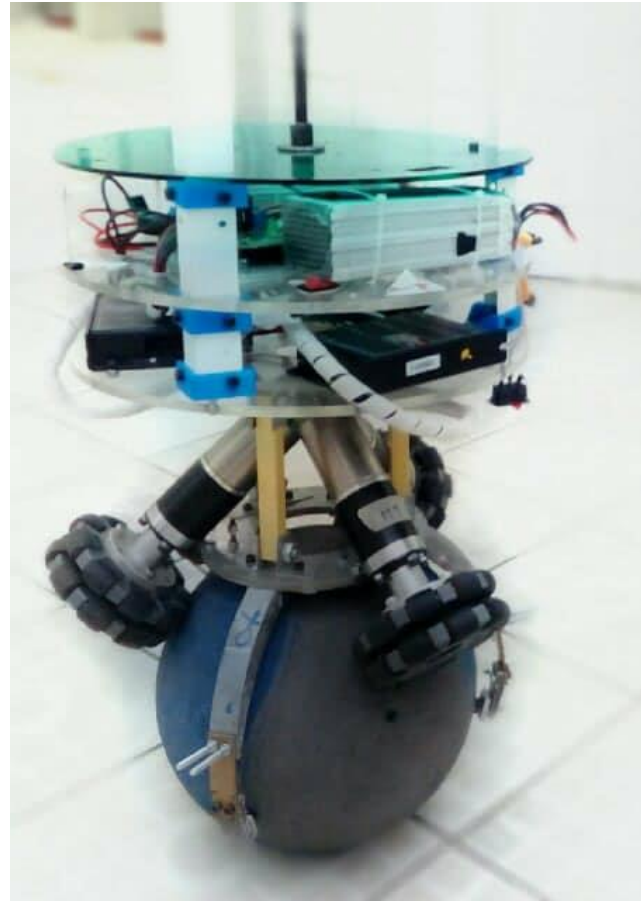
OBJETIVOS

Implementar un control de rotación autónomo de un robot rueda esférica tipo omnidireccional para tareas de desplazamiento.

- Investigar los tipos de control a través de la recopilación de información.
- Desarrollar el circuito electrónico que contemple las etapas de potencia y control.
- Proponer un esquema de control avanzado a fin de mantener el equilibrio de robots en tarea de posicionamiento autónomo.
- Evaluar experimentalmente el control autónomo propuesto sobre un robot esférica tipo omnidireccional.



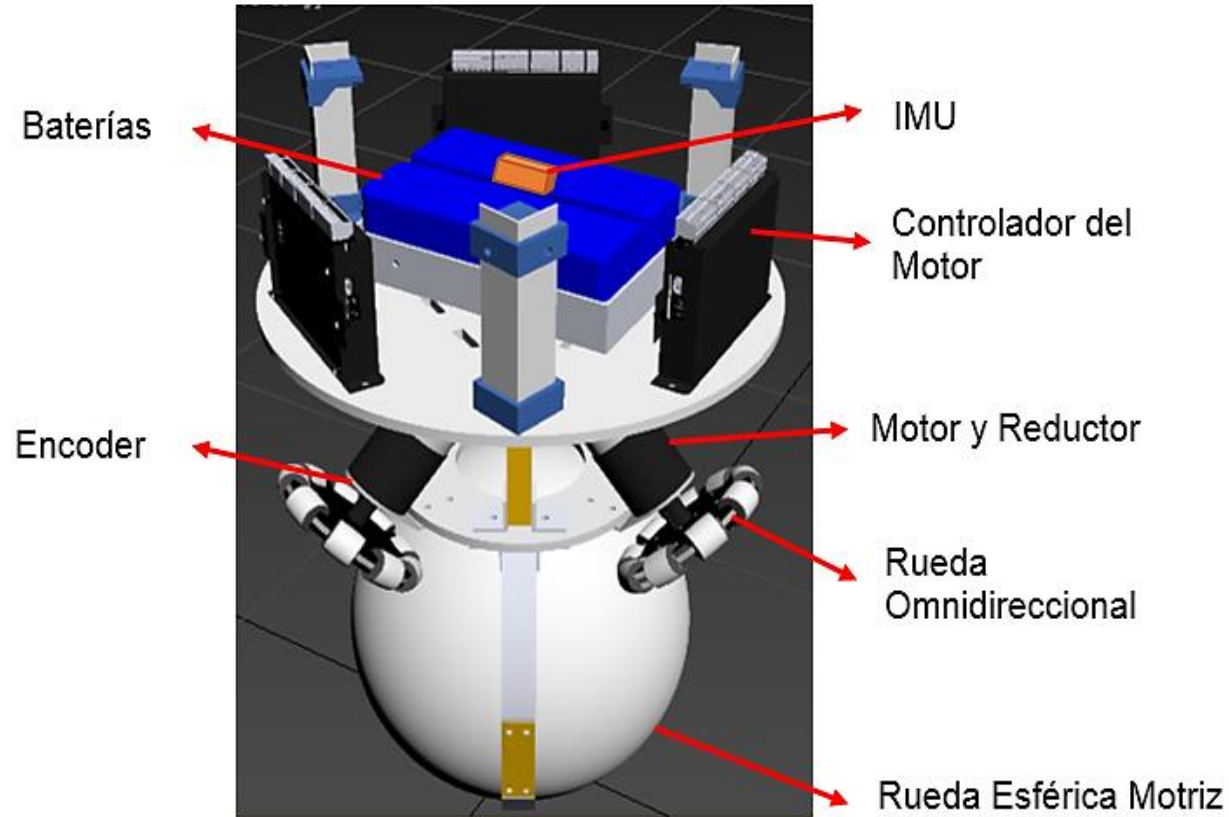
PROPUESTA



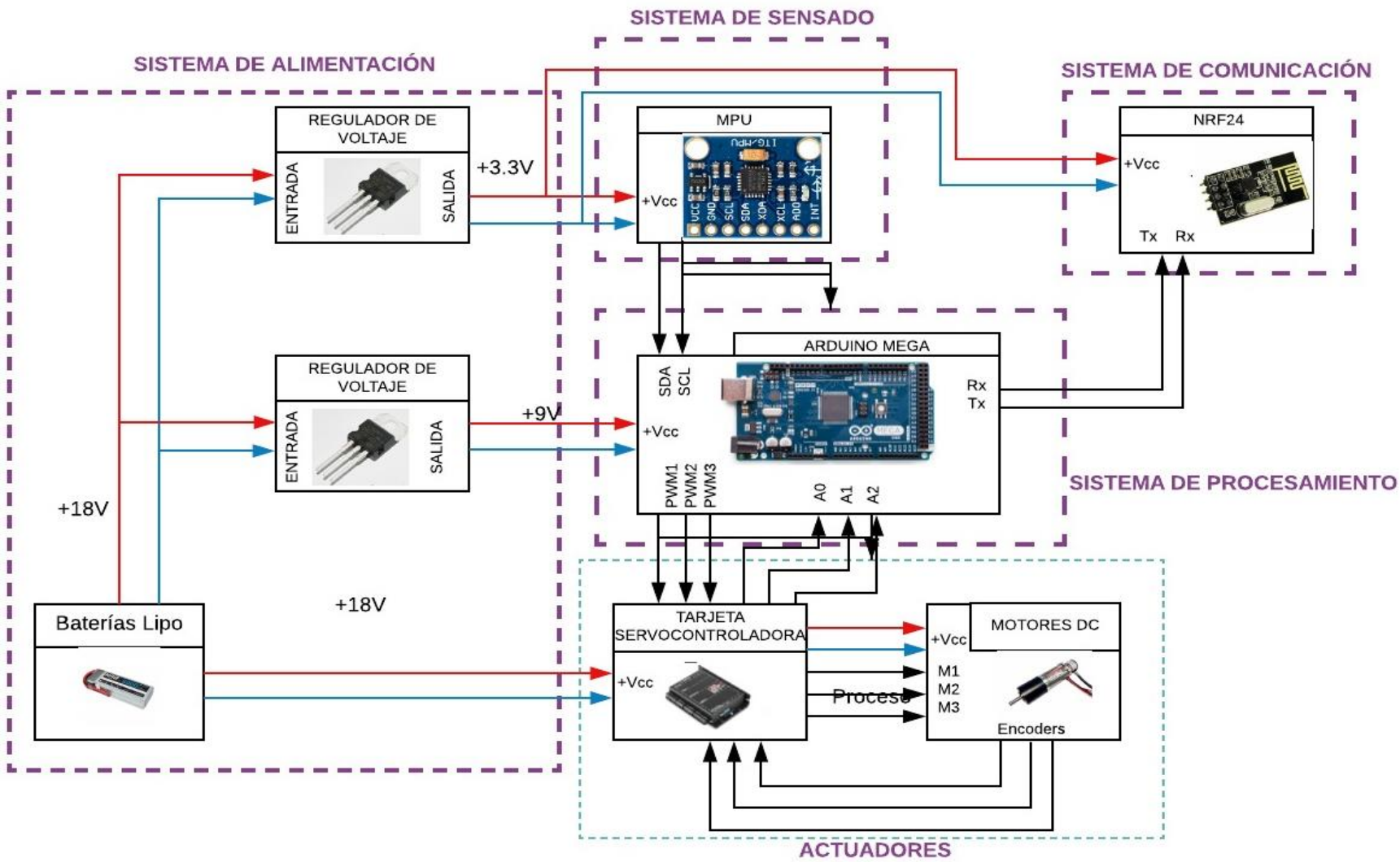
AGENDA



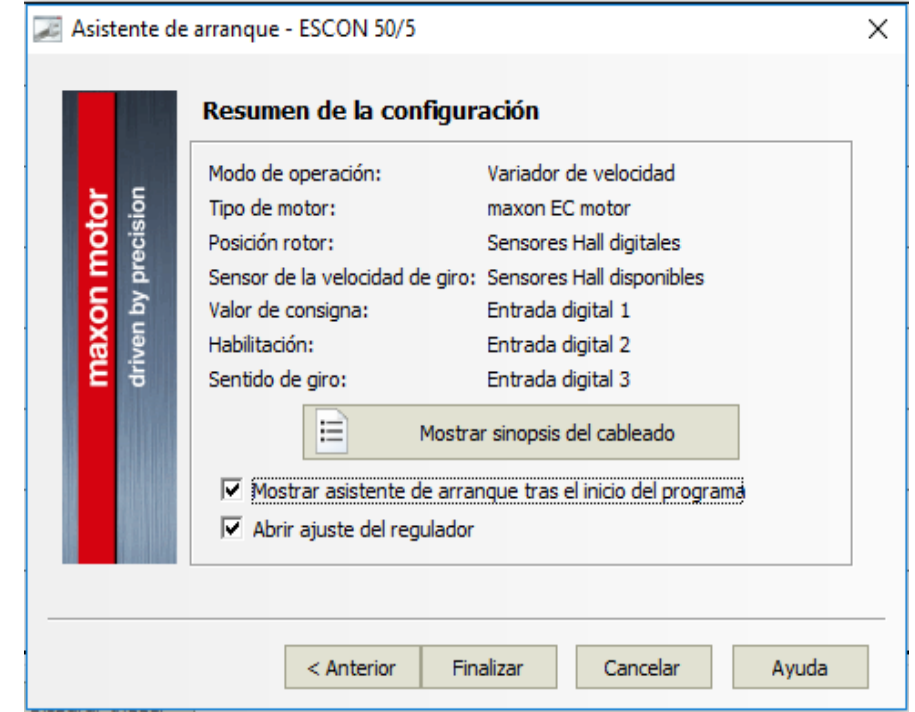
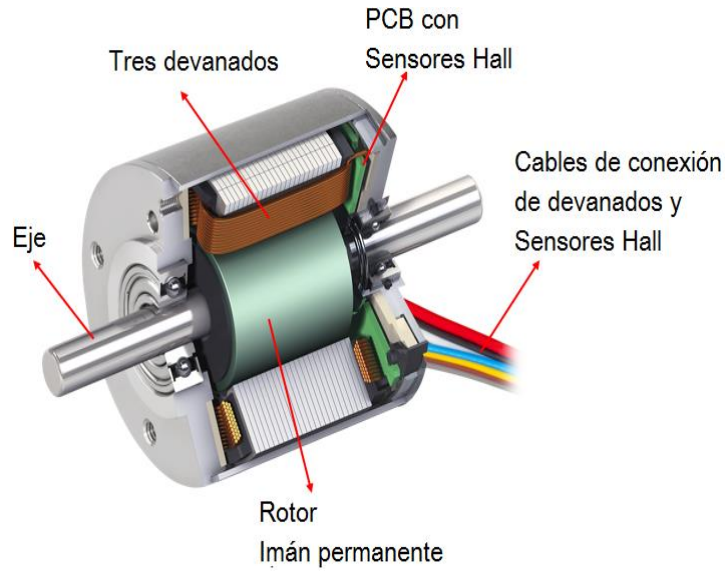
DISTRIBUCIÓN ELECTRÓNICA



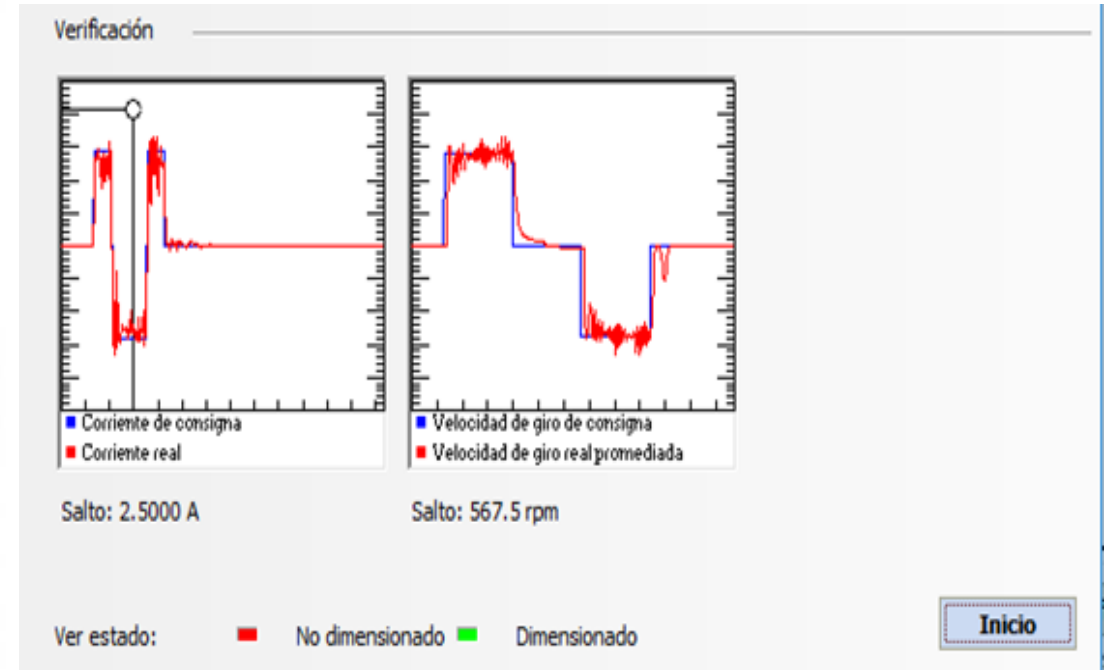
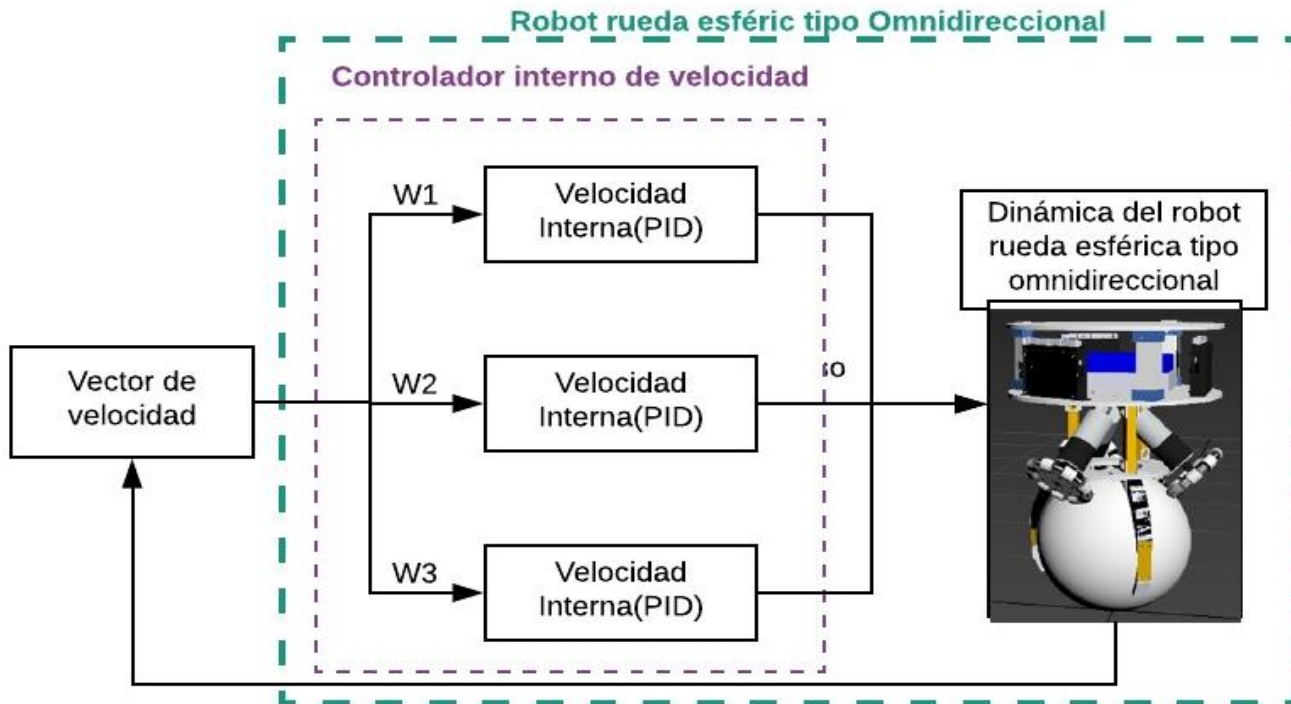
DISEÑO DEL ESQUEMA ELECTRÓNICO



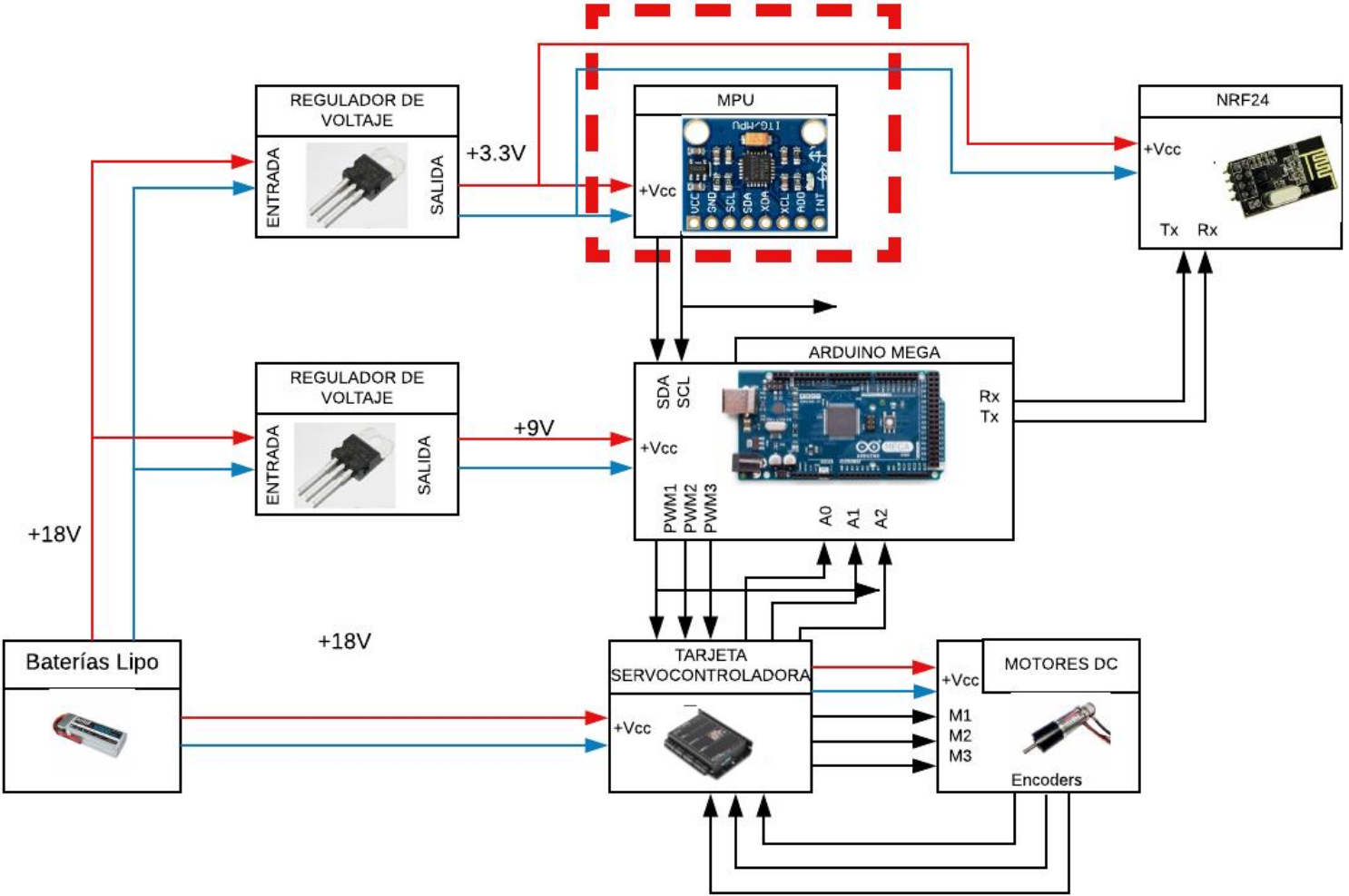
DISEÑO DEL ESQUEMA ELECTRÓNICO



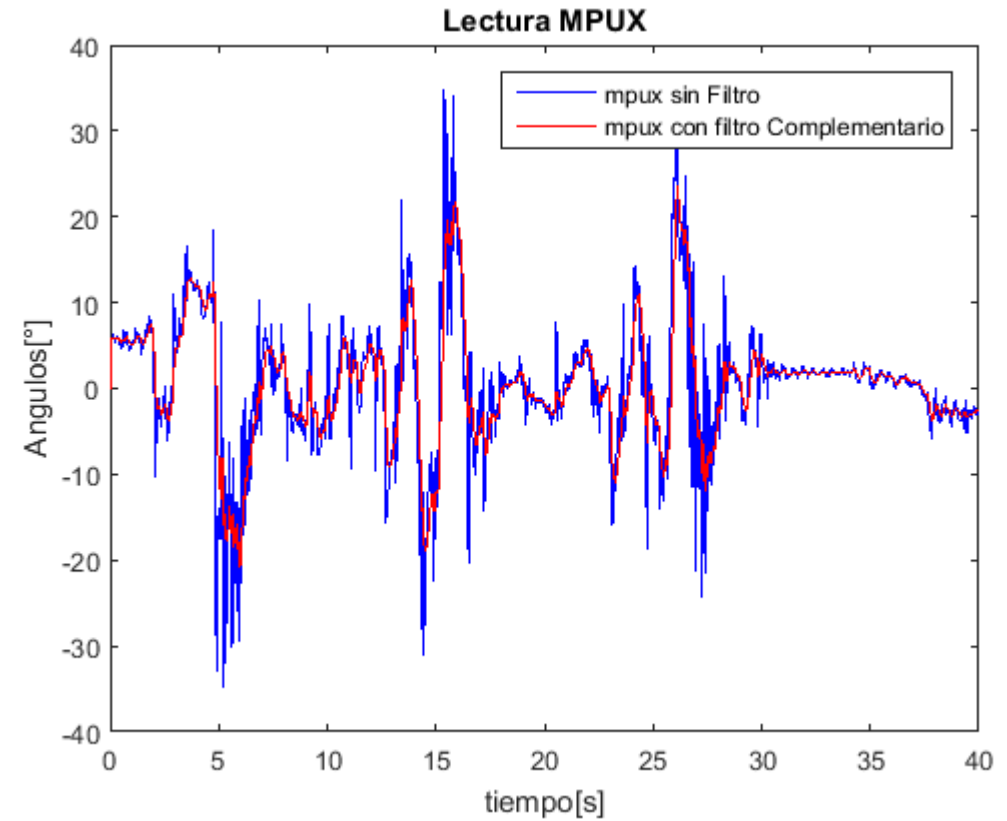
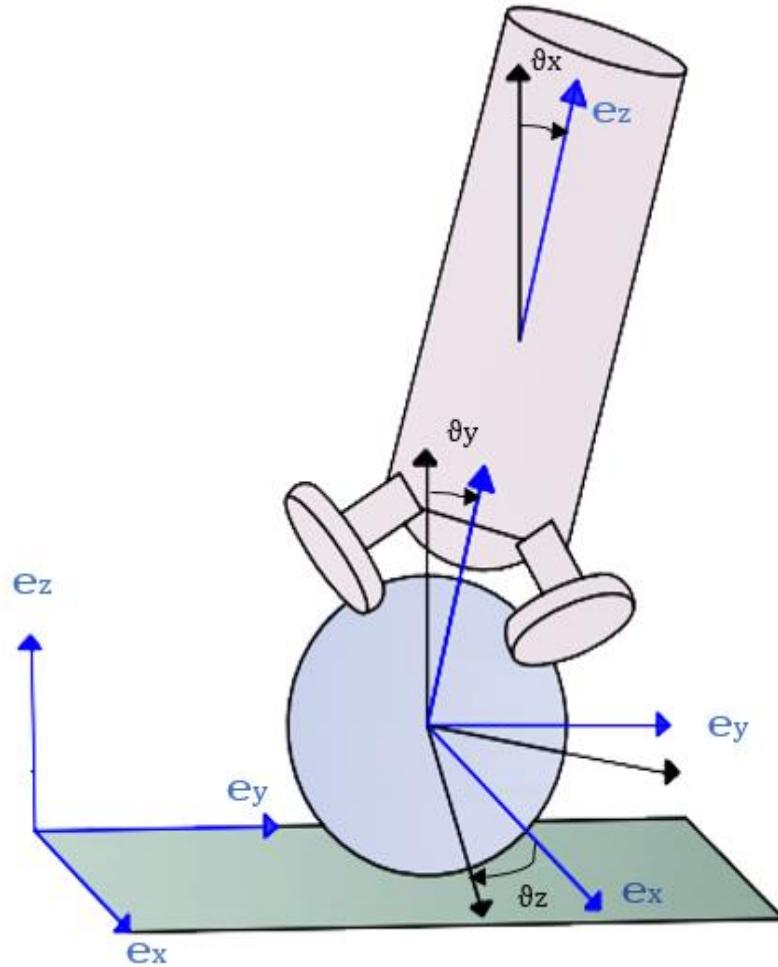
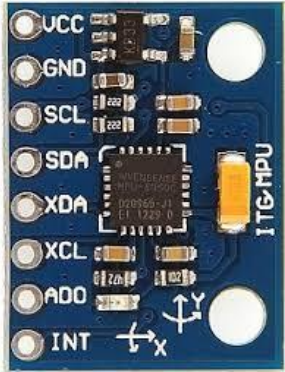
DISEÑO DEL ESQUEMA ELECTRÓNICO



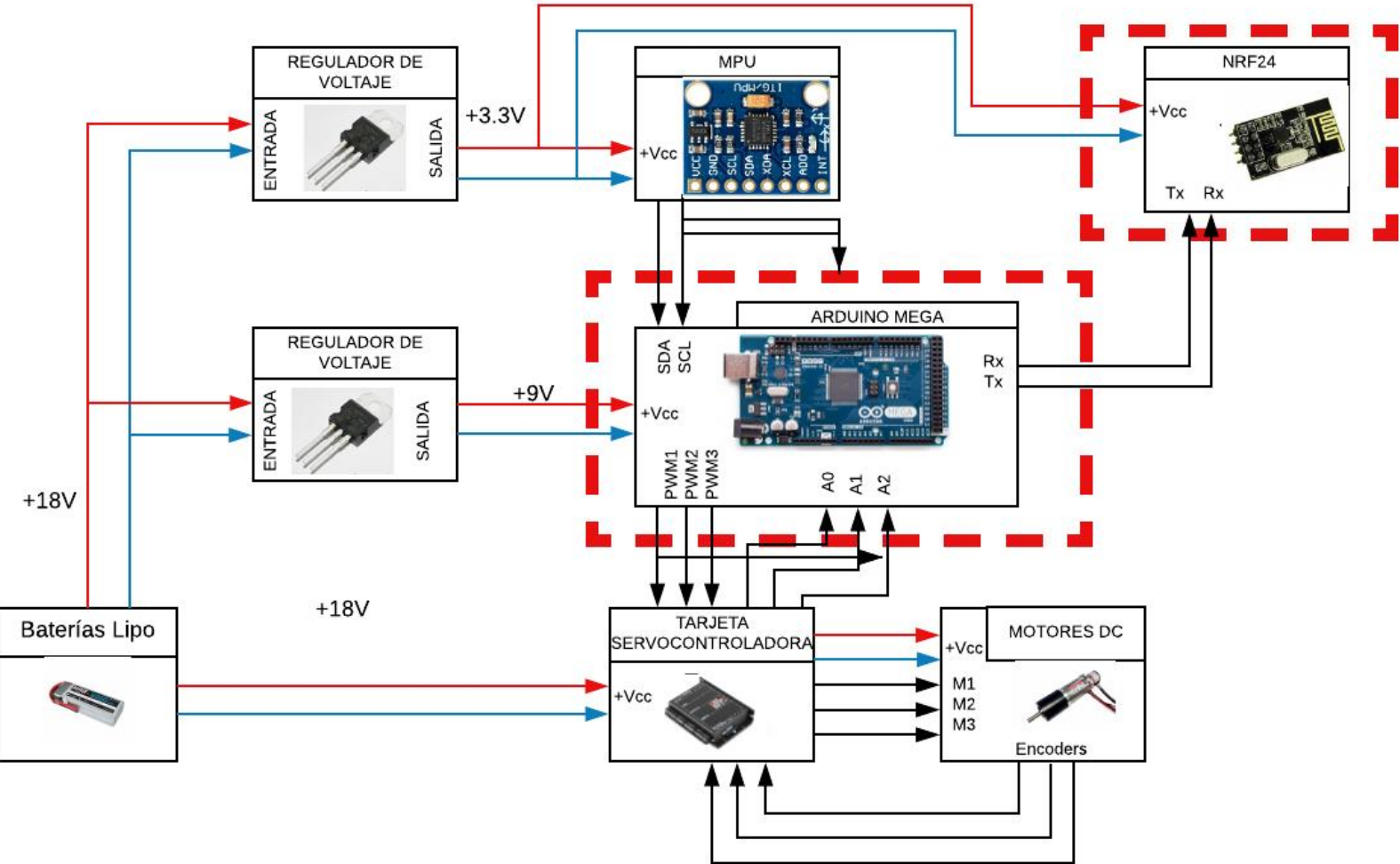
DISEÑO DEL ESQUEMA ELECTRÓNICO



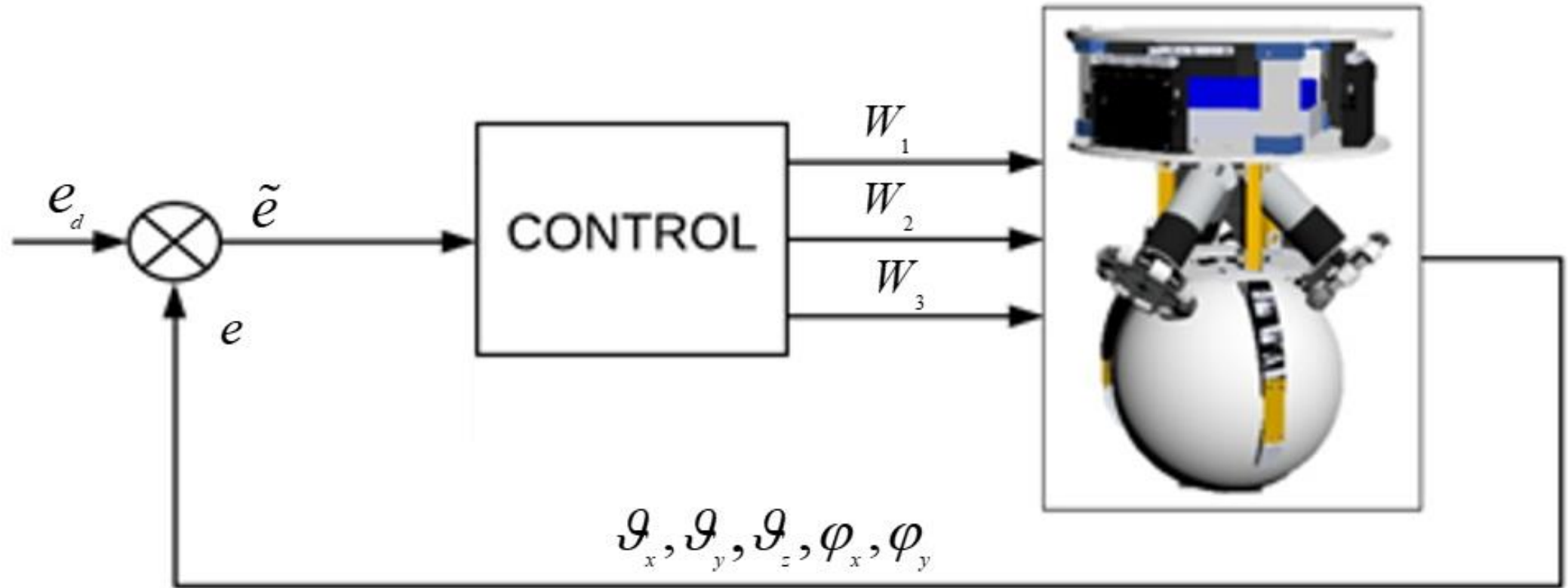
DISEÑO DEL ESQUEMA ELECTRÓNICO



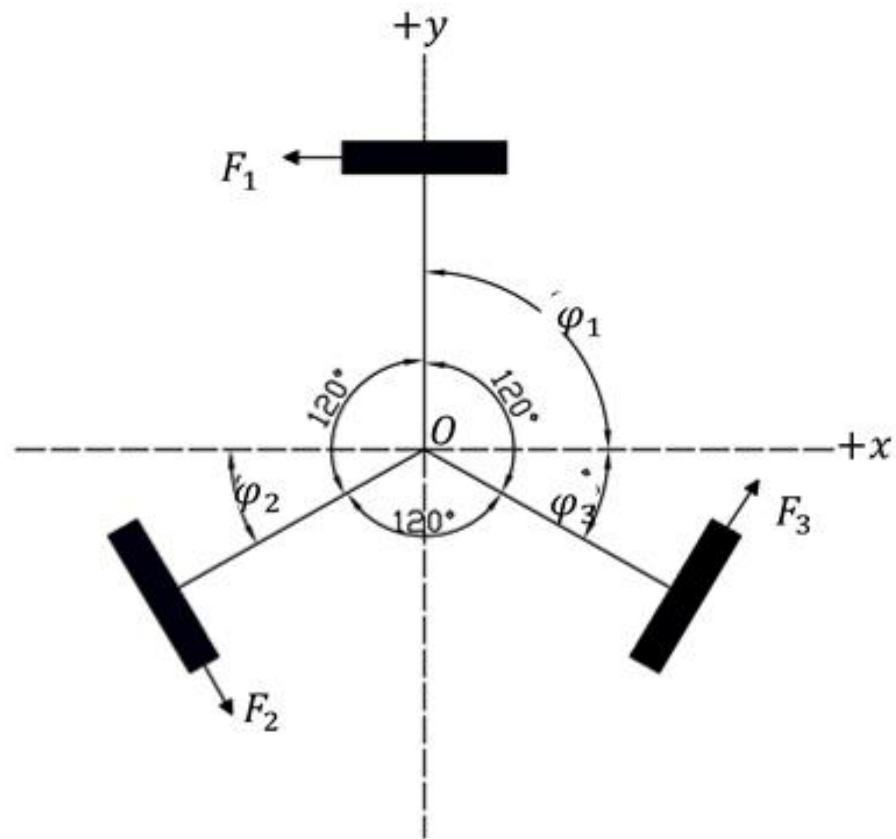
DISEÑO DEL ESQUEMA ELECTRÓNICO



CONTROL AUTÓNOMO DEL ROBOT



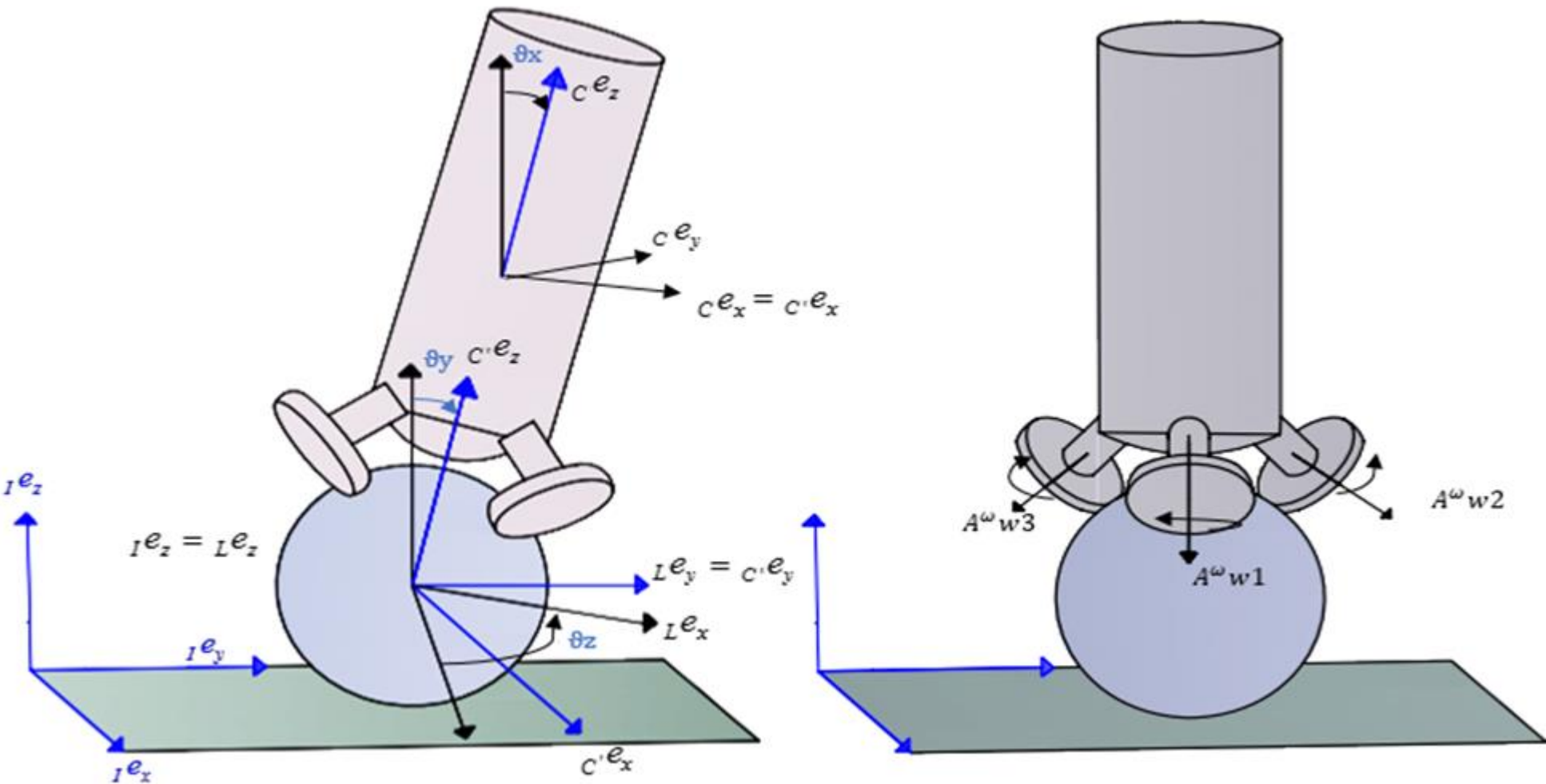
MODELADO CINEMÁTICO 2D



$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.667 & 0 & 0.333R \\ 0.333 & 0.5774 & 0.333R \\ 0.333 & -0.5774 & 0.333R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_o \end{bmatrix}$$



MODELADO DINÁMICO 3D



MODELADO DINÁMICO 3D

- Energía cinética de la esfera (K_E)

$$K_E = \frac{1}{2} m_{E I} \dot{\mathbf{r}}_{P I}^T \dot{\mathbf{r}}_{P I} + \frac{1}{2} {}_L \vec{\Omega}_{E L}^T \Theta_{E L} \vec{\Omega}_{E L}$$

- Energía cinética del cuerpo (K_C)

$$K_C = \frac{1}{2} m_{C I} \dot{\mathbf{r}}_{P I}^T \dot{\mathbf{r}}_{P I} + \frac{1}{2} {}_C \vec{\Omega}_{C C}^T \Theta_{C C} \vec{\Omega}_{C C}$$

- Energía potencial del cuerpo

$$U_C = m_C \vec{\mathbf{g}} R_{I C C} \mathbf{r}_{P S C}$$



MODELADO DINÁMICO 3D

- Energía cinética de las ruedas omnidireccionales (K_E)

$$K_{wi} = \frac{1}{2} {}_C \Theta_{wi} {}_C \Omega_{wi}^2 \quad i = 1, 2, 3$$

- Ecuaciones de Euler-Lagrange

$$L = K - U$$



MODELADO DINÁMICO 3D

- La energía cinética total

$$K = K_E + K_C + K_{W1} + K_{W2} + K_{W3}$$

$$K = \frac{1}{2} m_{E I} \dot{\mathbf{r}}_{P I}^T \dot{\mathbf{r}}_{P I} + \frac{1}{2} {}_L \vec{\Omega}_{E L}^T \Theta_{E L} \vec{\Omega}_{E L} + \frac{1}{2} m_{C I} \dot{\mathbf{r}}_{P I}^T \dot{\mathbf{r}}_{P I} + \dots$$

$$\frac{1}{2} {}_C \vec{\Omega}_{C C}^T \Theta_{C C} \vec{\Omega}_{C C} + \frac{1}{2} {}_C \Theta_{W1 C} \Omega_{W1}^2 + \frac{1}{2} {}_C \Theta_{W2 C} \Omega_{W2}^2 + \frac{1}{2} {}_C \Theta_{W3 C} \Omega_{W3}^2$$



MODELADO DINÁMICO 3D

- La energía potencial total

$$U = U_C$$

$$U = m_C \vec{g} R_{IC} {}_C \vec{r}_{PSC}$$

- Lagrangeano

$$L = \frac{1}{2} m_{E I} \dot{\vec{r}}_{P I}^T \dot{\vec{r}}_{P I} + \frac{1}{2} {}_L \vec{\Omega}_{E L}^T \Theta_{E L} \vec{\Omega}_{E L} + \frac{1}{2} m_{C I} \dot{\vec{r}}_{P I}^T \dot{\vec{r}}_{P I} + m_C \left(R_{CI I} \dot{\vec{r}}_{P I} \right) \left({}_C \vec{\Omega}_C \times {}_C \vec{r}_{PSC} \right) + \dots$$

$$\frac{1}{2} {}_C \vec{\Omega}_C^T \Theta_{C C} \vec{\Omega}_C + \frac{1}{2} {}_C \Theta_{W1 C} \Omega_{W1}^2 + \frac{1}{2} {}_C \Theta_{W2 C} \Omega_{W2}^2 + \frac{1}{2} {}_C \Theta_{W3 C} \Omega_{W3}^2 - m_C \vec{g} R_{IC} {}_C \vec{r}_{PSC}$$



MODELADO DINÁMICO 3D

- Método de Euler-Lagrange

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\vec{q}}_i} \right) - \left(\frac{\partial L}{\partial \vec{q}_i} \right) = \tau_i$$

- Matriz de Torques

$$\mathbf{M}(q)\ddot{\mathbf{q}}(t) + \mathbf{C}(q, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}(t) + \mathbf{g}(q) = \boldsymbol{\tau}(t)$$



CONVERSIÓN DE TORQUES A VELOCIDADES

- Ecuación de conversión:

$$\boldsymbol{\tau}(t) = \mathbf{C}\boldsymbol{\tau}_{Ruedas}$$

- Torques de las ruedas omnidireccionales:

$$\boldsymbol{\tau}_{Ruedas} = \frac{k_a (\boldsymbol{v}_i - k_b \dot{\boldsymbol{q}}_i)}{R_a}$$

$$\boldsymbol{\tau}_{Ruedas} = \mathbf{D}_a \boldsymbol{v}_a(t) - \mathbf{E}_a \dot{\boldsymbol{q}}_a(t)$$



CONVERSIÓN DE TORQUES A VELOCIDADES

- Voltajes de alimentación de los motores:

$$v_i = K_P \left(\dot{q}_{i_ref} - \dot{q}_i \right) - \ddot{q}_i K_D$$

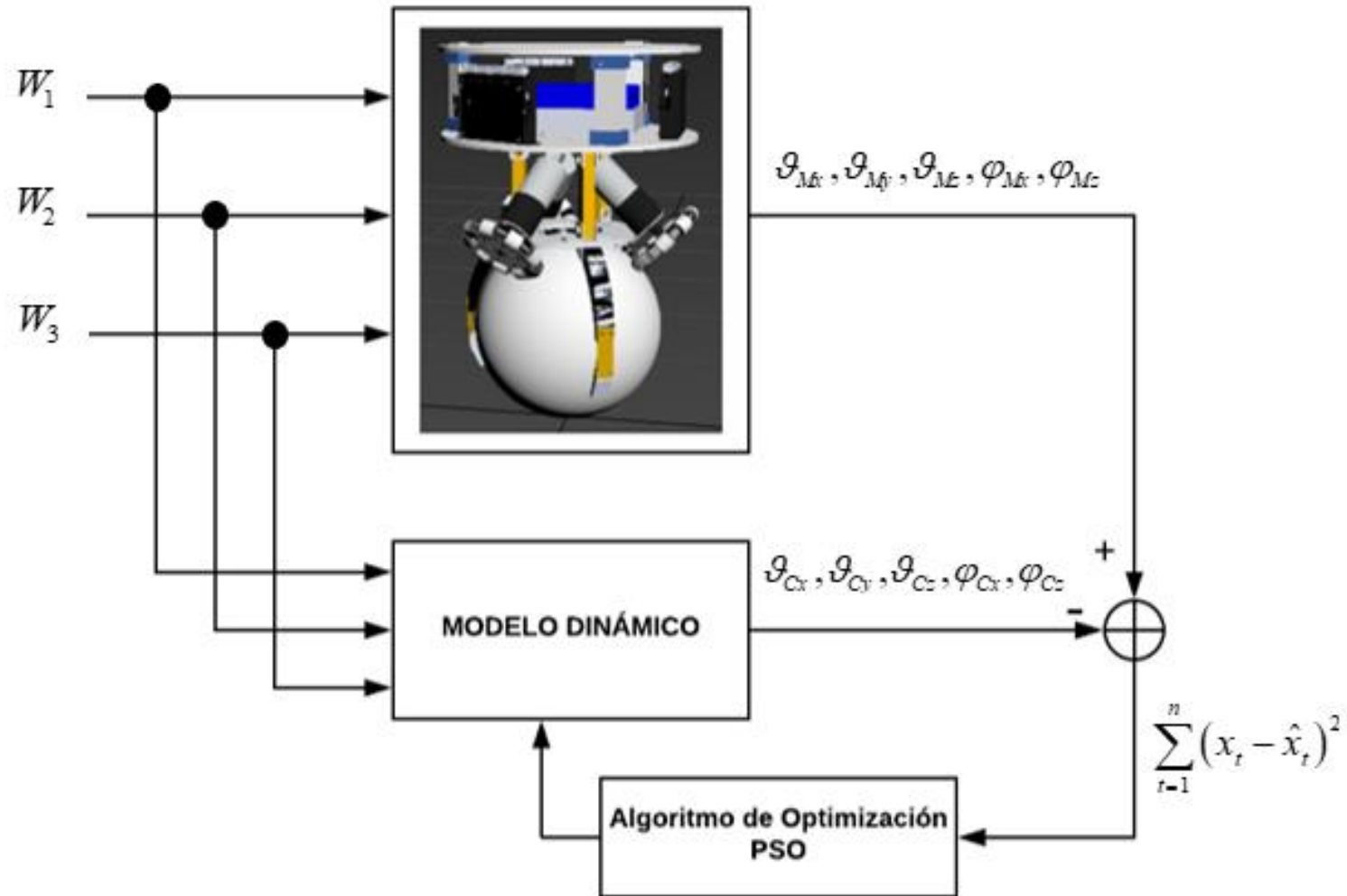
$$\mathbf{v}_a(t) = \mathbf{L}_A \dot{\mathbf{q}}_{a_ref}(t) - \mathbf{L}_A \dot{\mathbf{q}}_a(t) - \mathbf{J}_A \ddot{\mathbf{q}}_a(t)$$

$$\boldsymbol{\tau}_{Ruedas} = \mathbf{D}_a \left[\mathbf{L}_A \dot{\mathbf{q}}_{a_ref}(t) - \mathbf{L}_A \dot{\mathbf{q}}_a(t) - \mathbf{J}_A \ddot{\mathbf{q}}_a(t) \right] - \mathbf{E}_a \dot{\mathbf{q}}_a(t)$$

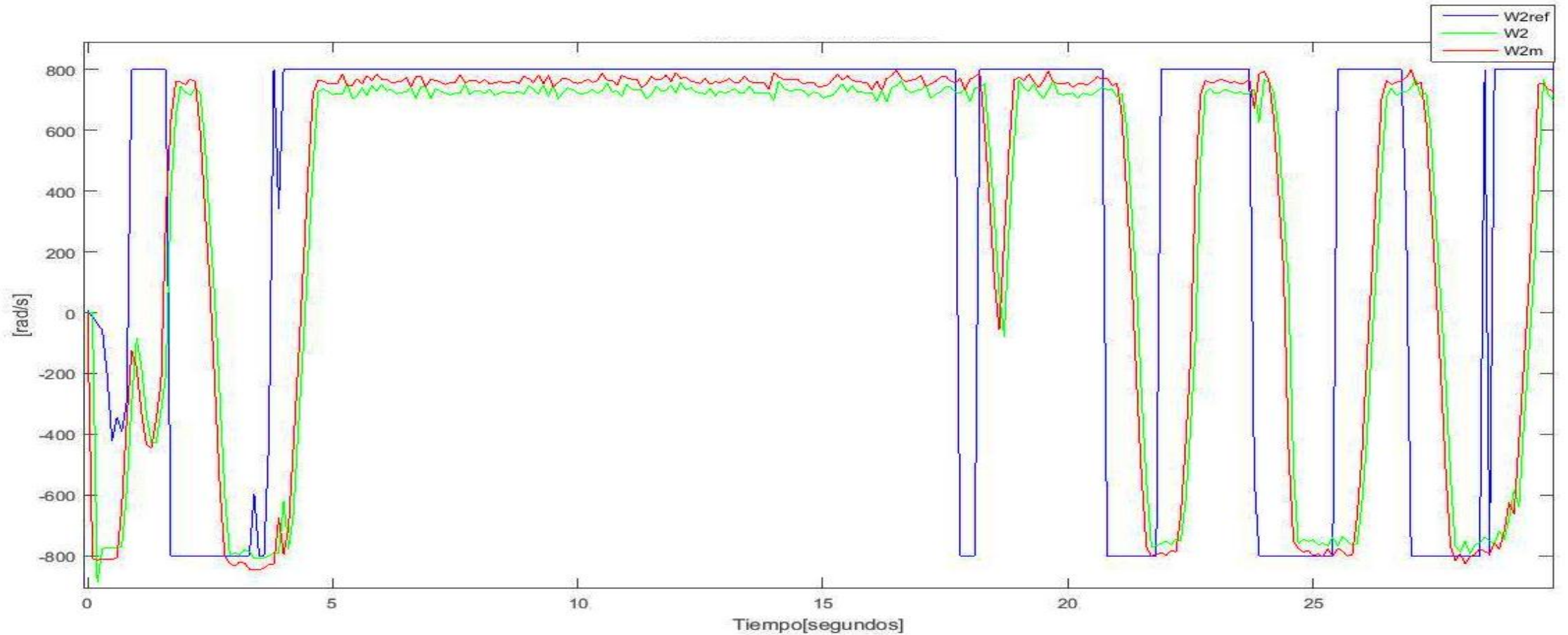
$$\dot{\mathbf{q}}_{a_ref}(t) = \mathbf{D}_a^{-1} \mathbf{L}_a^{-1} \mathbf{E}_a \dot{\mathbf{q}}_a(t) - \dot{\mathbf{q}}_a(t) - \mathbf{L}_a^{-1} \mathbf{J}_a \ddot{\mathbf{q}}_a(t) + \mathbf{CONV}^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{M}(q) \ddot{\mathbf{q}}(t) + \dots \\ \mathbf{C}(q, \dot{\mathbf{q}}) \dot{\mathbf{q}}(t) + \mathbf{g}(q) \end{bmatrix}$$



IDENTIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DE PARÁMETROS



IDENTIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DE PARÁMETROS

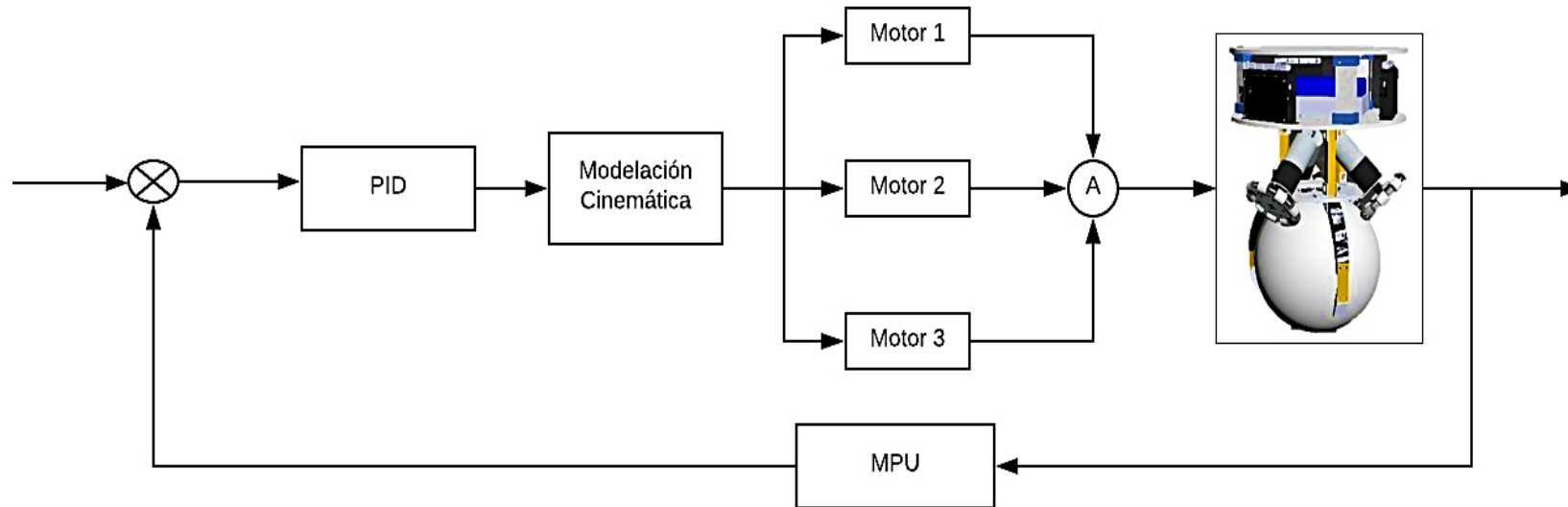


CONTROL CINEMÁTICO

- Velocidades para el lazo de control

$$\mathcal{G}_{\varphi_x} = \mathcal{G}_{\varphi_x(t-1)} + K_{p_x} (\varphi_x - \varphi_{x(t-1)}) + K_{i_x} (\varphi_x) + K_{d_x} (\varphi_x - 2\varphi_{x(t-1)} + \varphi_{x(t-2)})$$

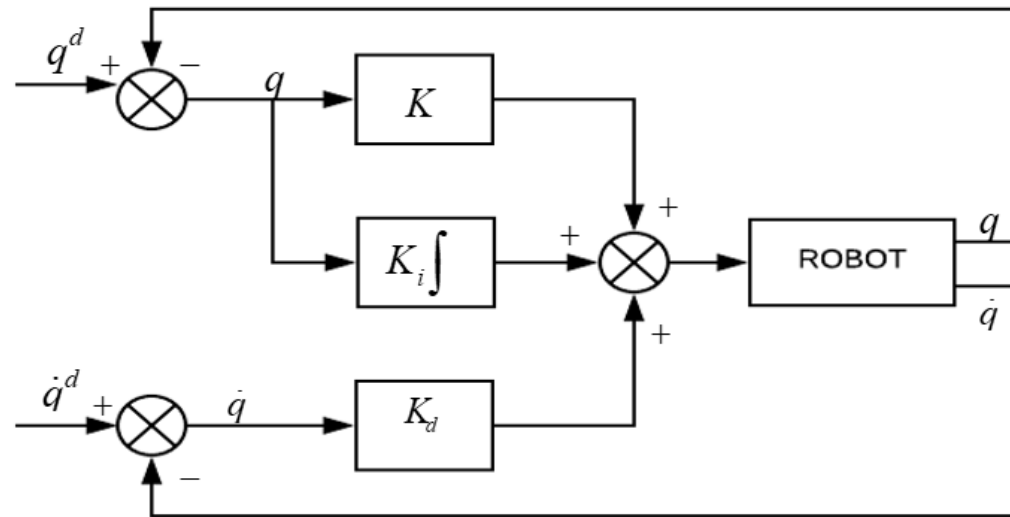
$$\mathcal{G}_{\theta_y} = \mathcal{G}_{\theta_y(t-1)} + K_{p_y} (\theta_y - \theta_{y(t-1)}) + K_{i_y} (\theta_y) + K_{d_y} (\theta_y - 2\theta_{y(t-1)} + \theta_{y(t-2)})$$



CONTROL DINÁMICO

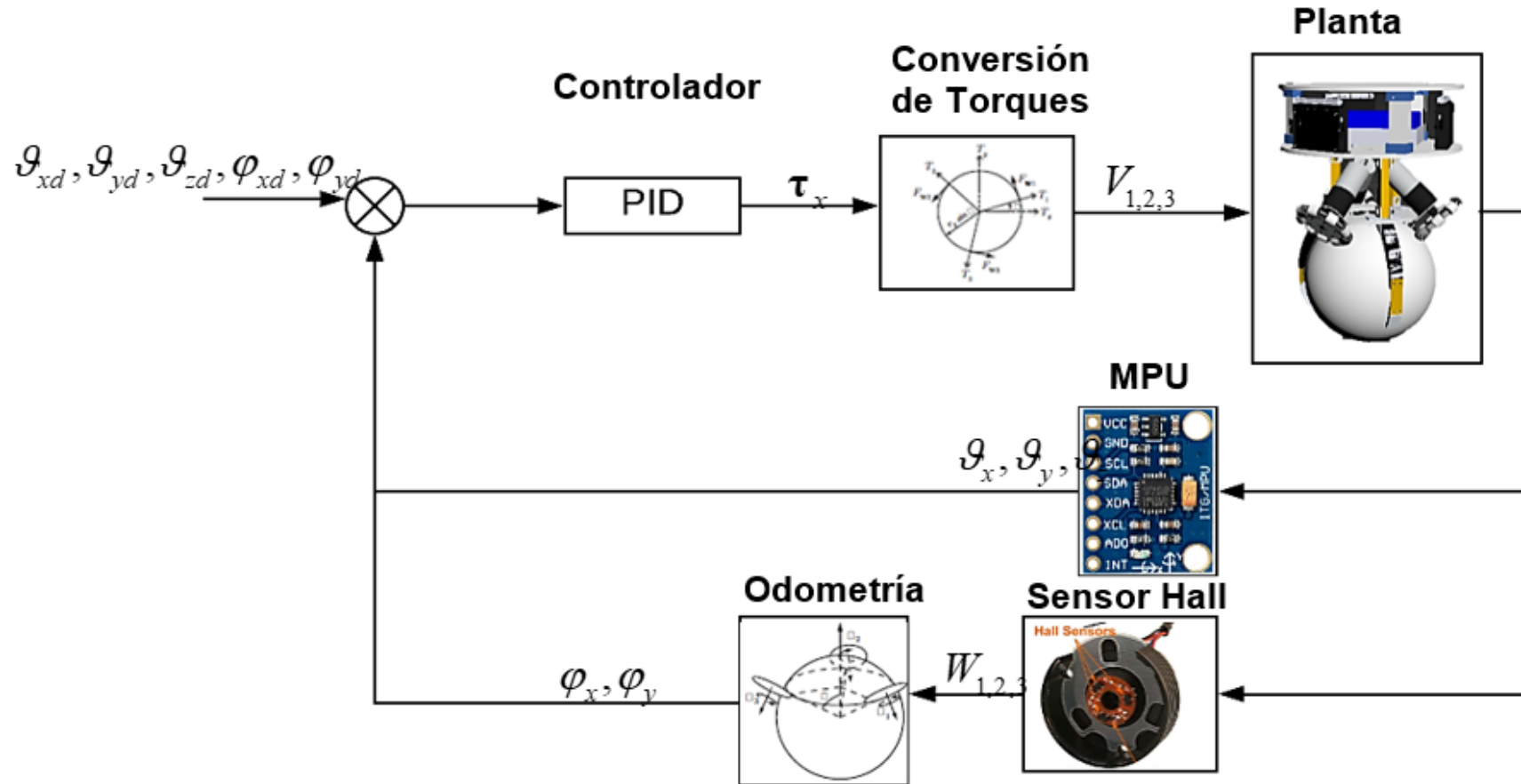
- Velocidades para el lazo de control

$$\tau = K_p (q^d - q) + K_D (\dot{q}^d - \dot{q}) + K_I \int_0^t (q^d - q) d\tau + g(q)$$



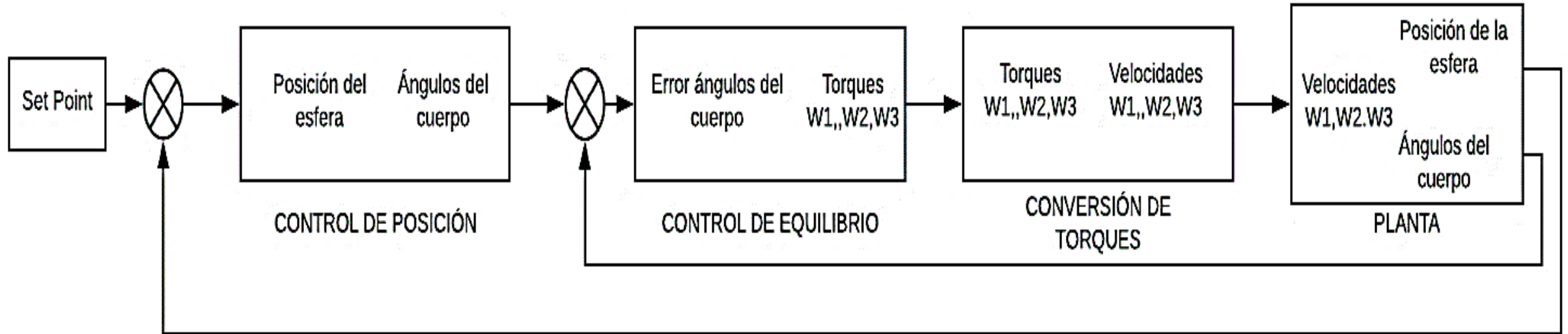
CONTROL DINÁMICO

- Esquema del control del robot Rueda Esférica



CONTROL DINÁMICO

- Control en cascada para realizar el desplazamiento del robot

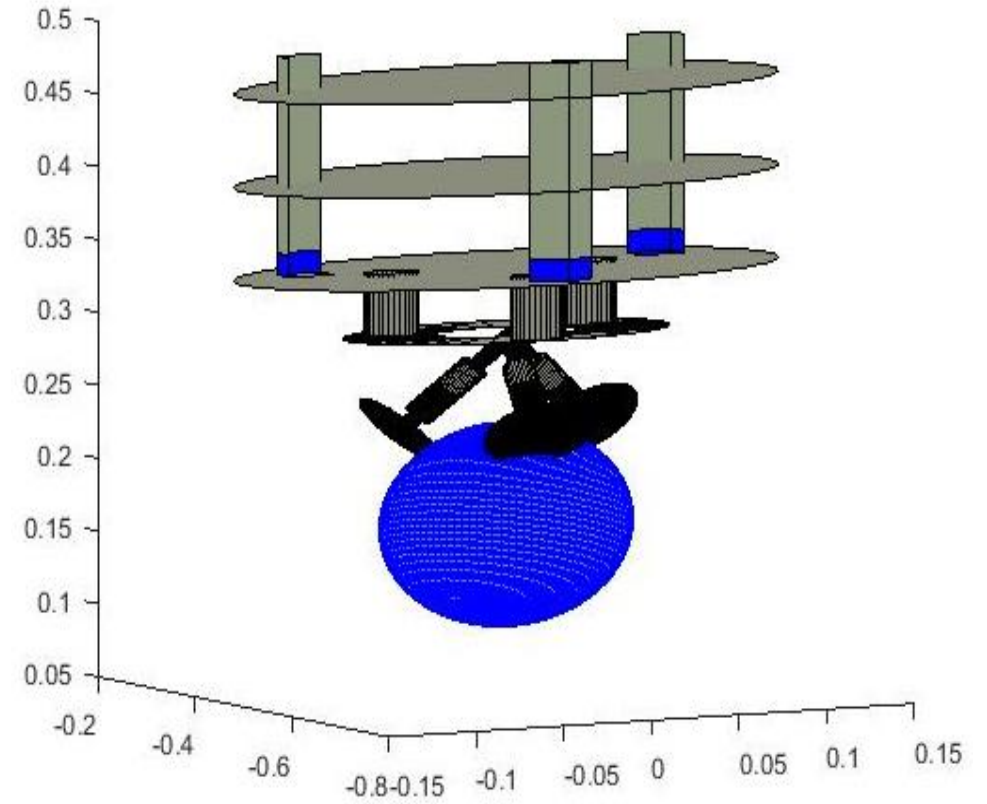
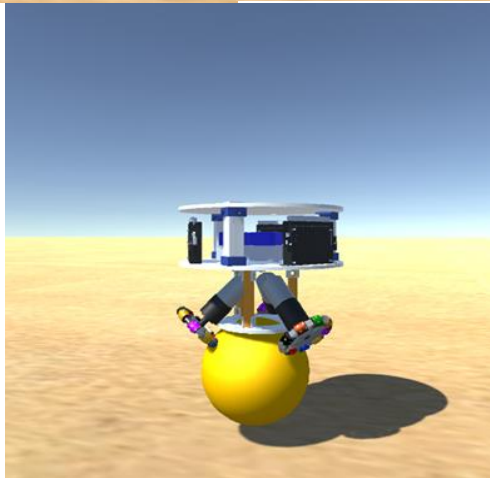
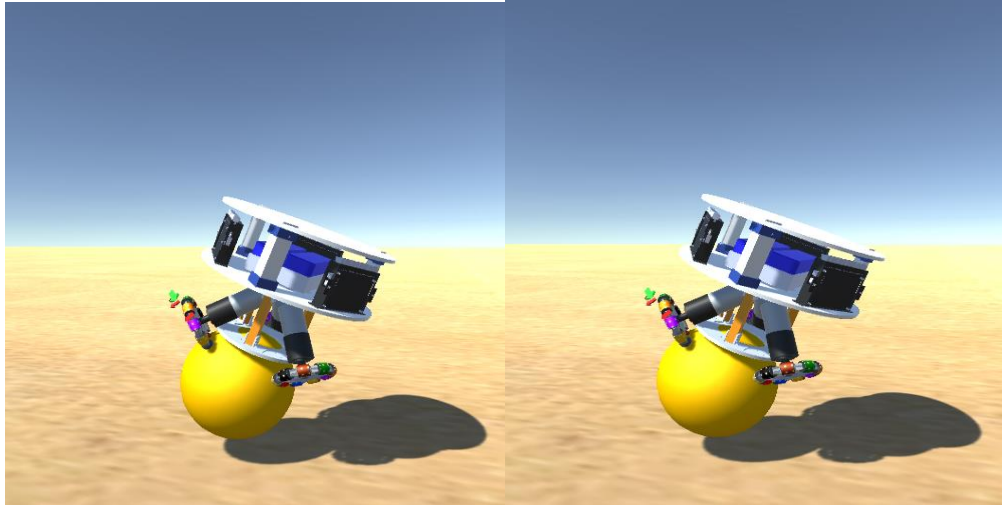


AGENDA



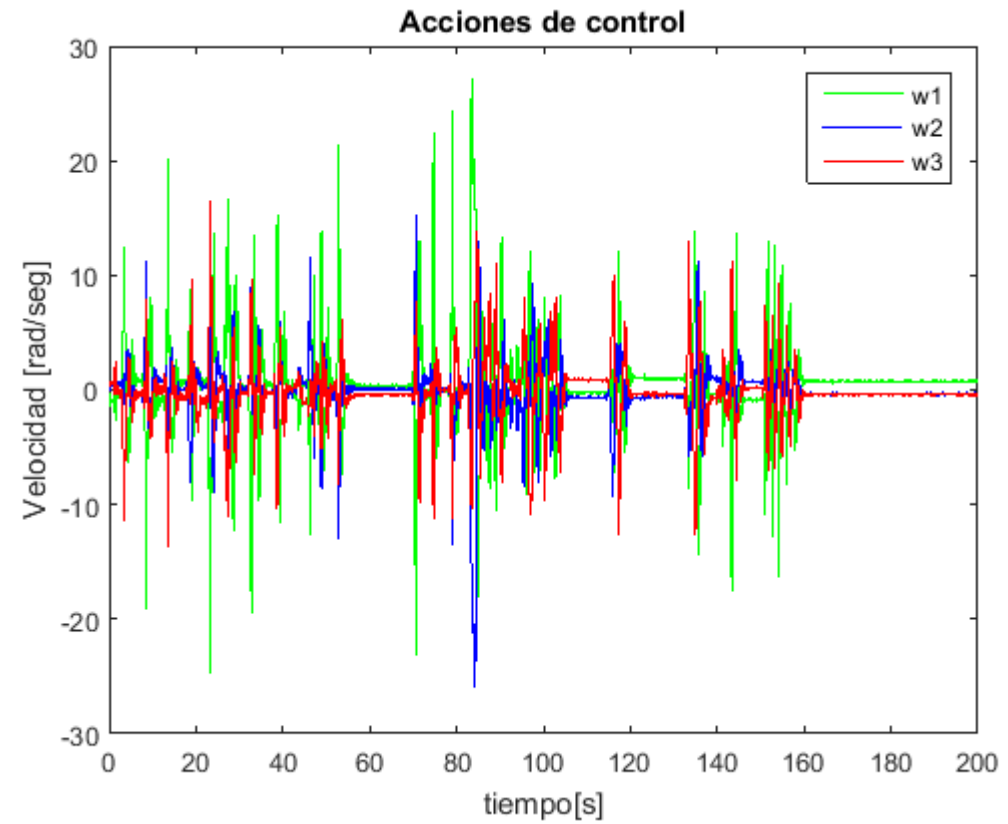
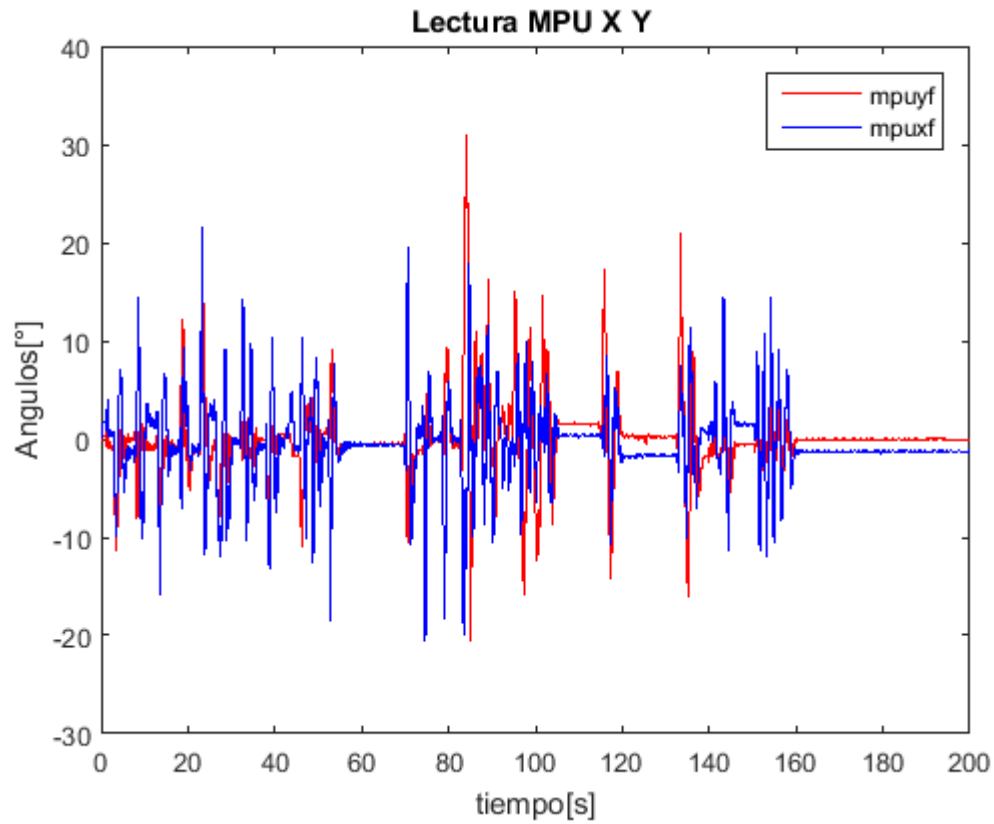
RESULTADOS

CONTROL CINEMÁTICO 2D



RESULTADOS

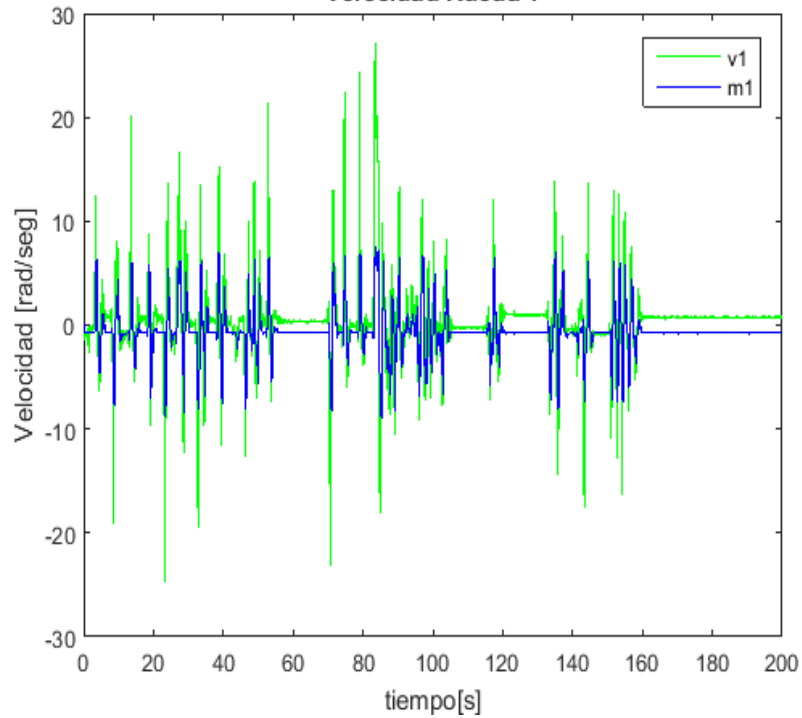
CONTROL CINEMÁTICO 2D



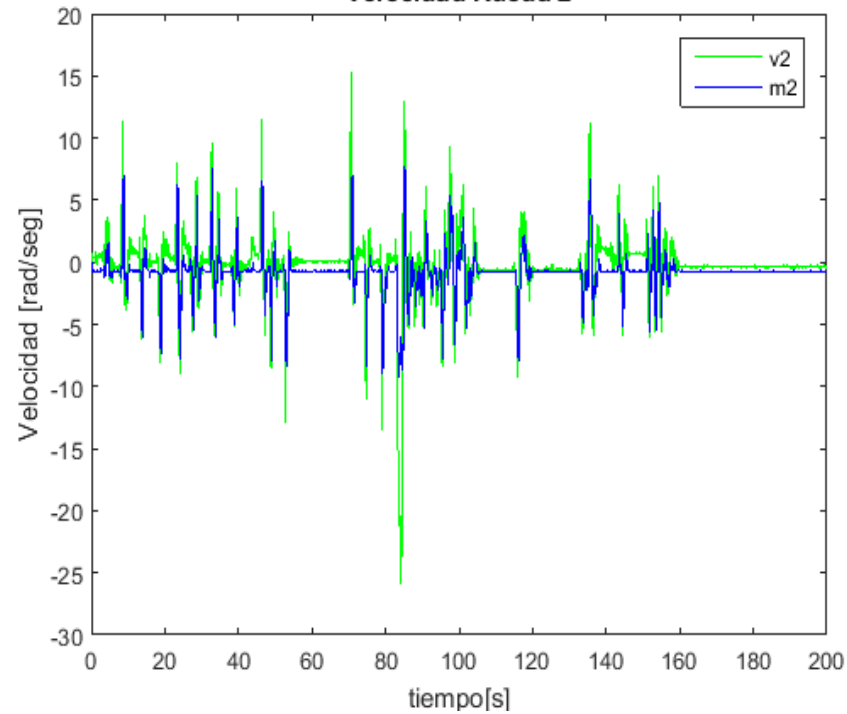
RESULTADOS

CONTROL CINEMÁTICO 2D

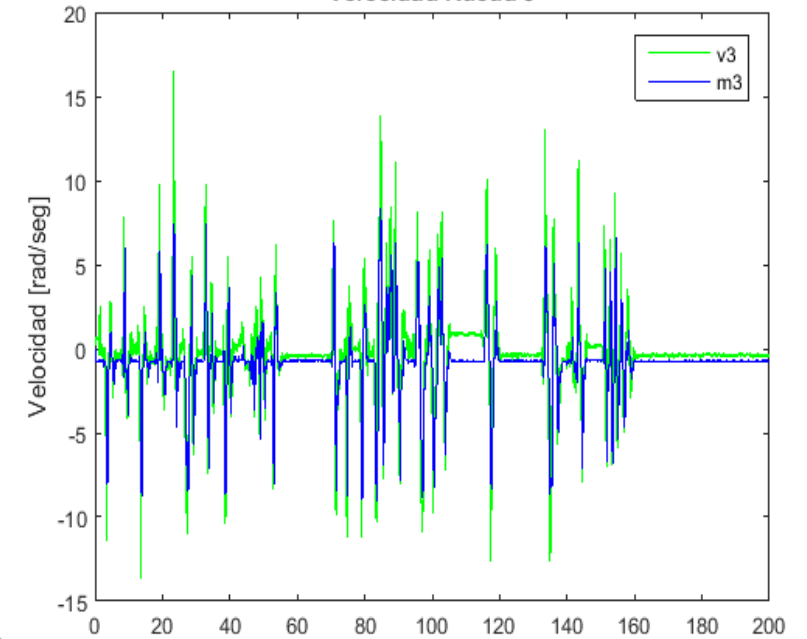
Velocidad Rueda 1



Velocidad Rueda 2

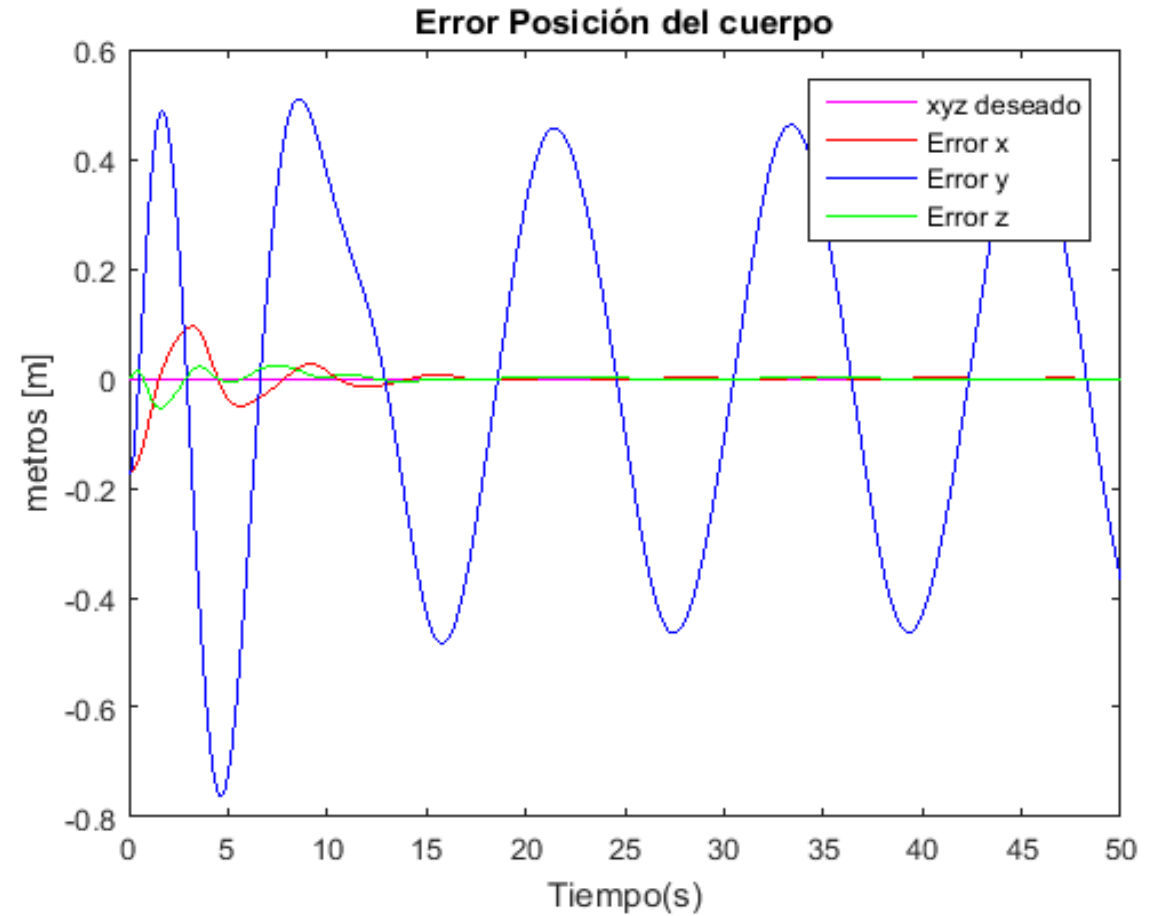
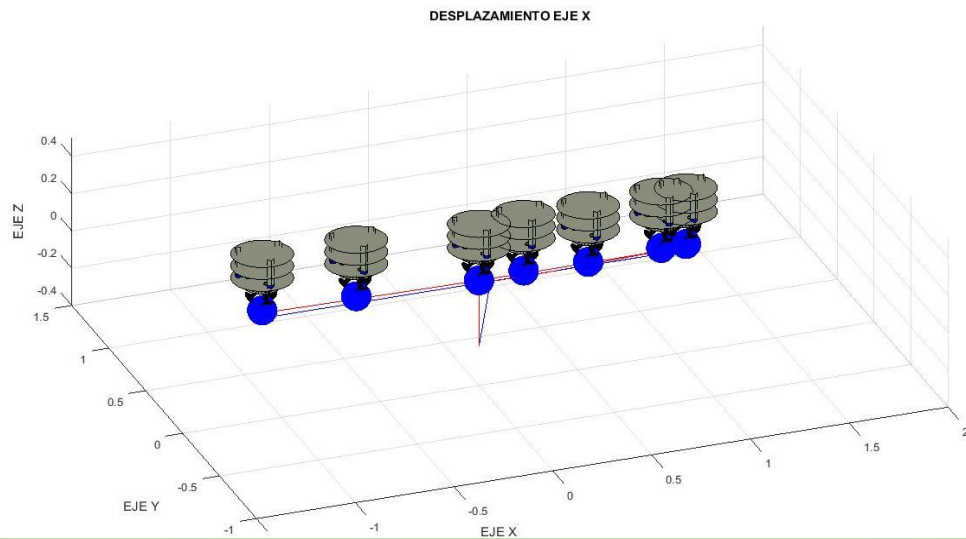


Velocidad Rueda 3



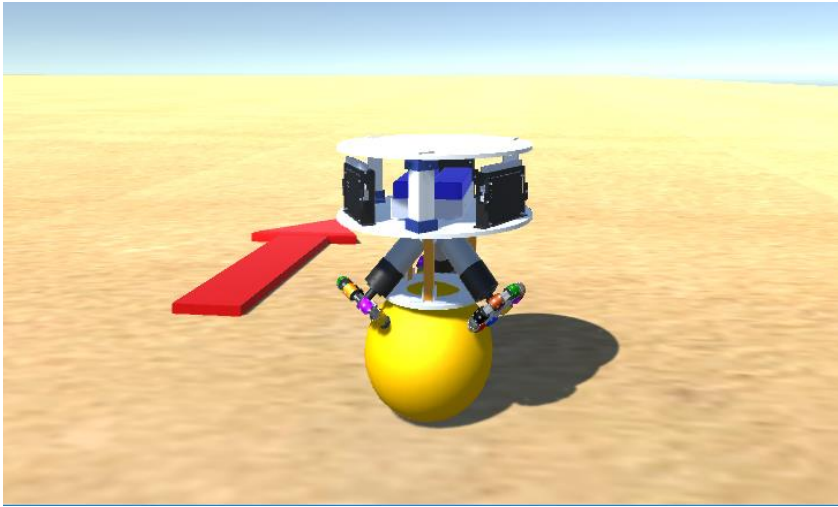
RESULTADOS

CONTROL DINÁMICO 3D

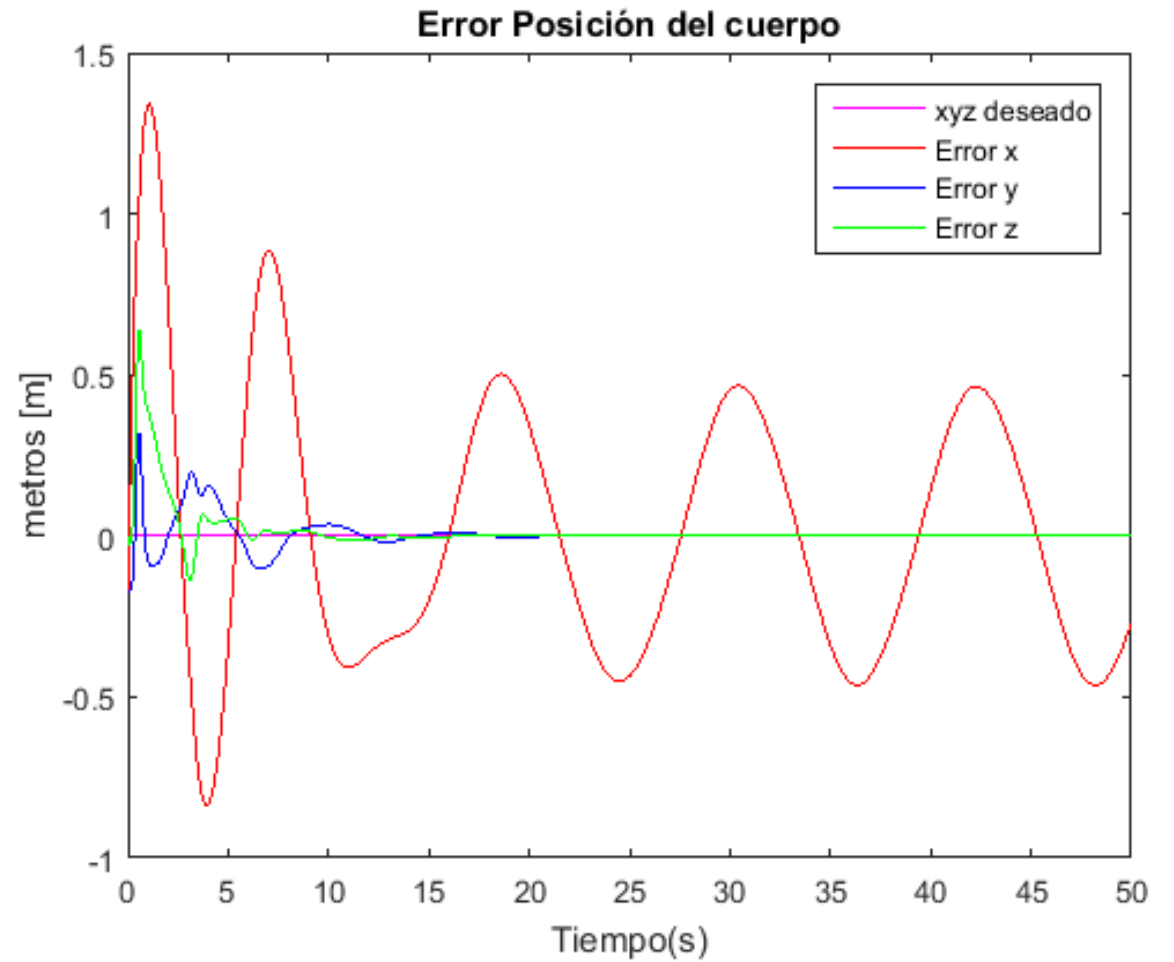
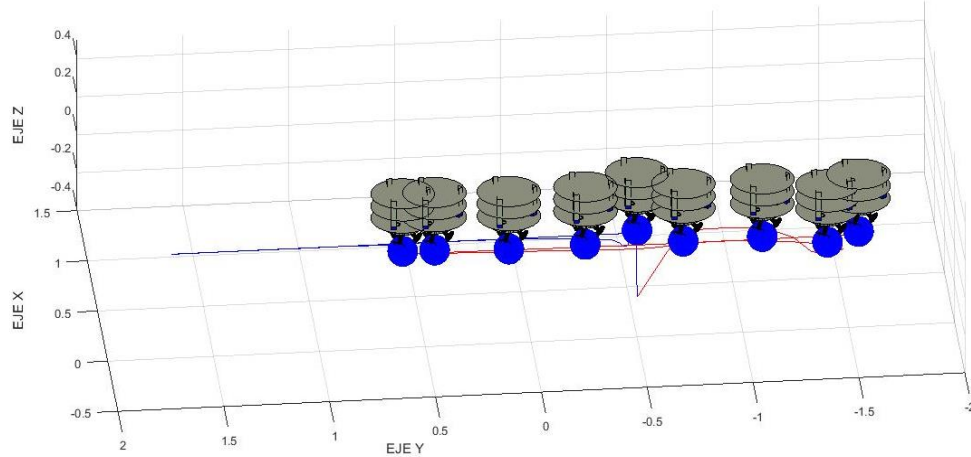


RESULTADOS

CONTROL DINÁMICO 3D

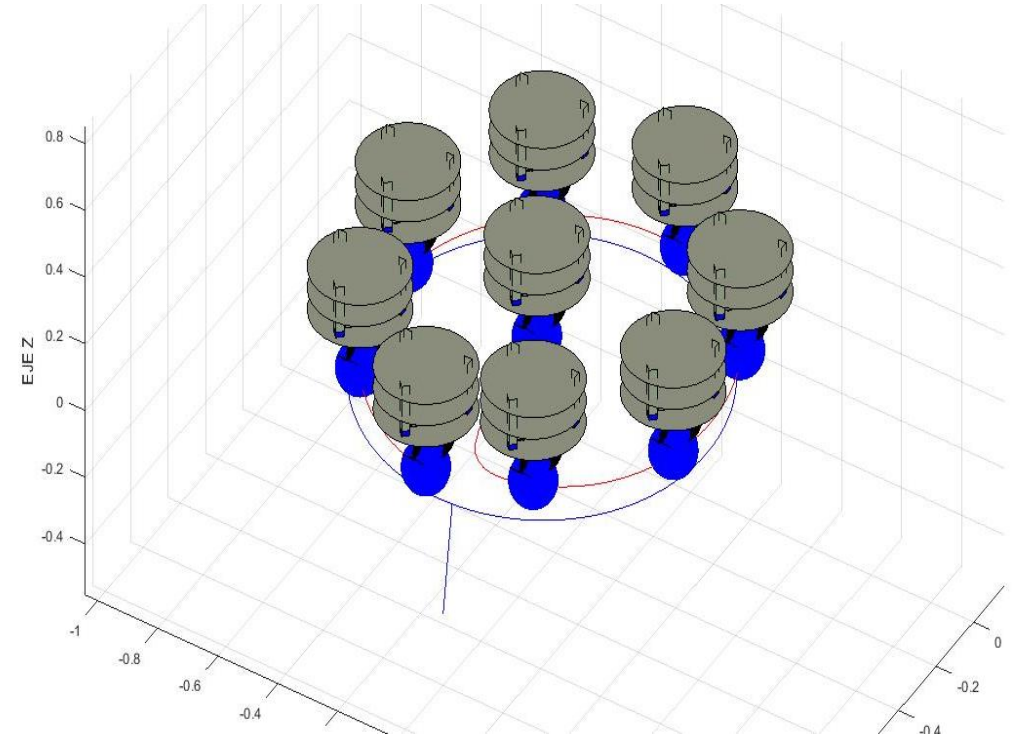


DESPLAZAMIENTO EJE Y



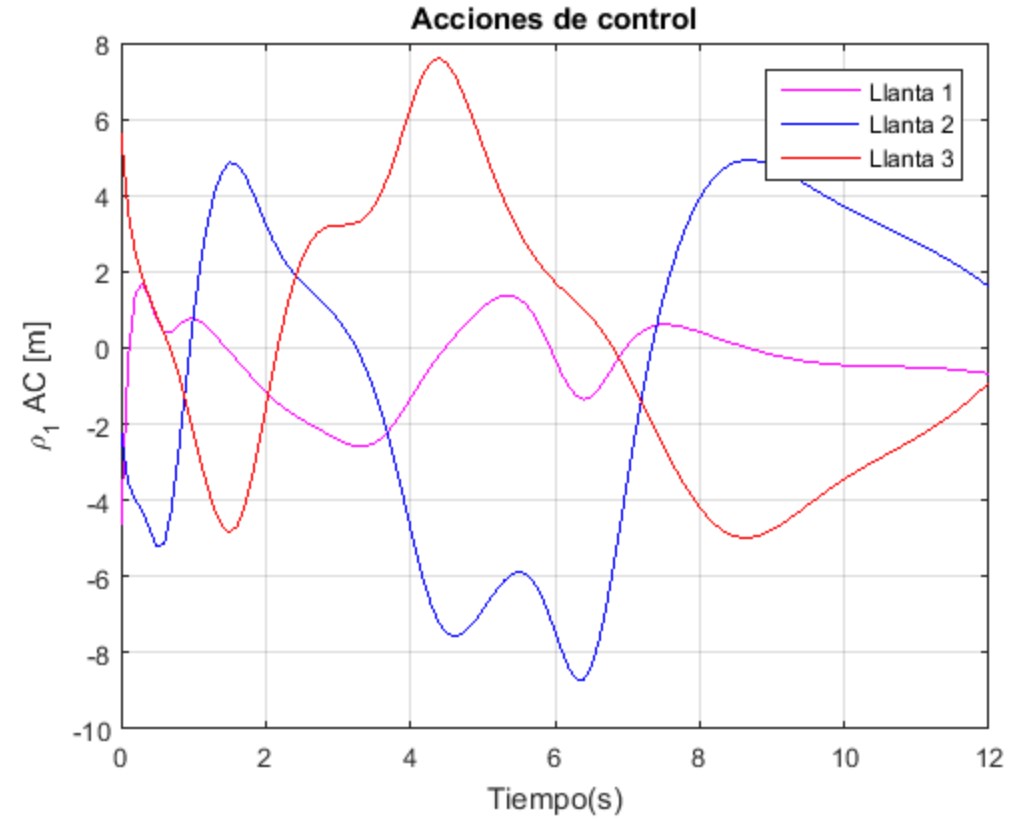
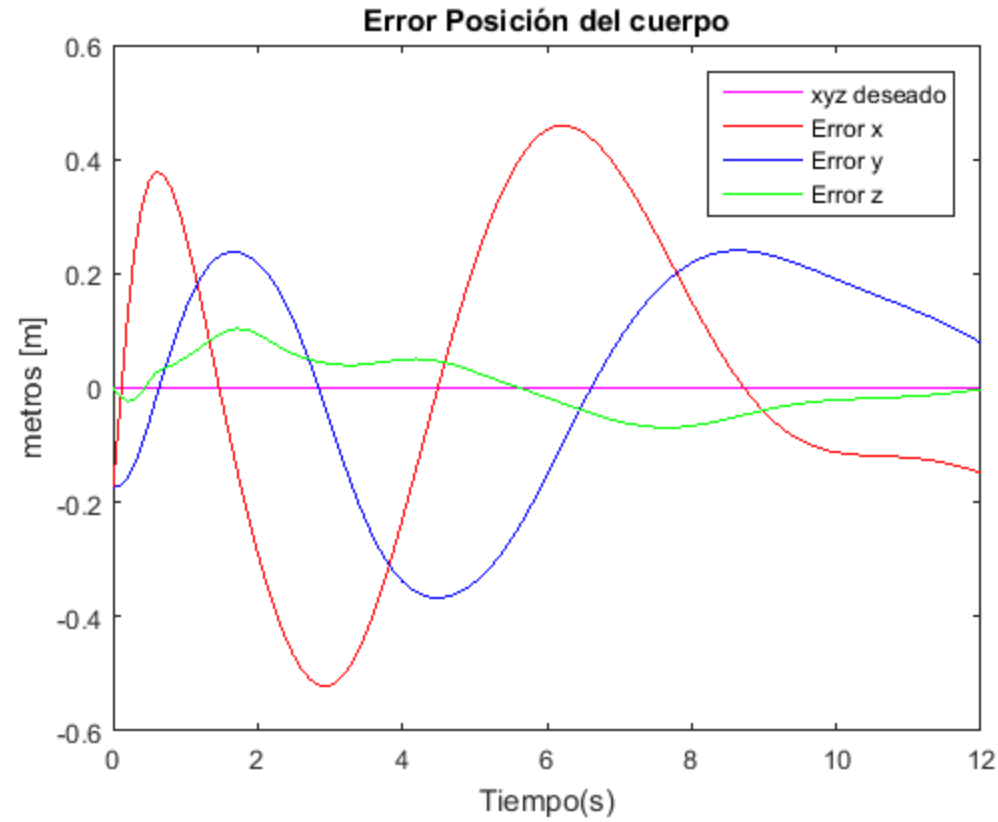
RESULTADOS

CONTROL DINÁMICO 3D



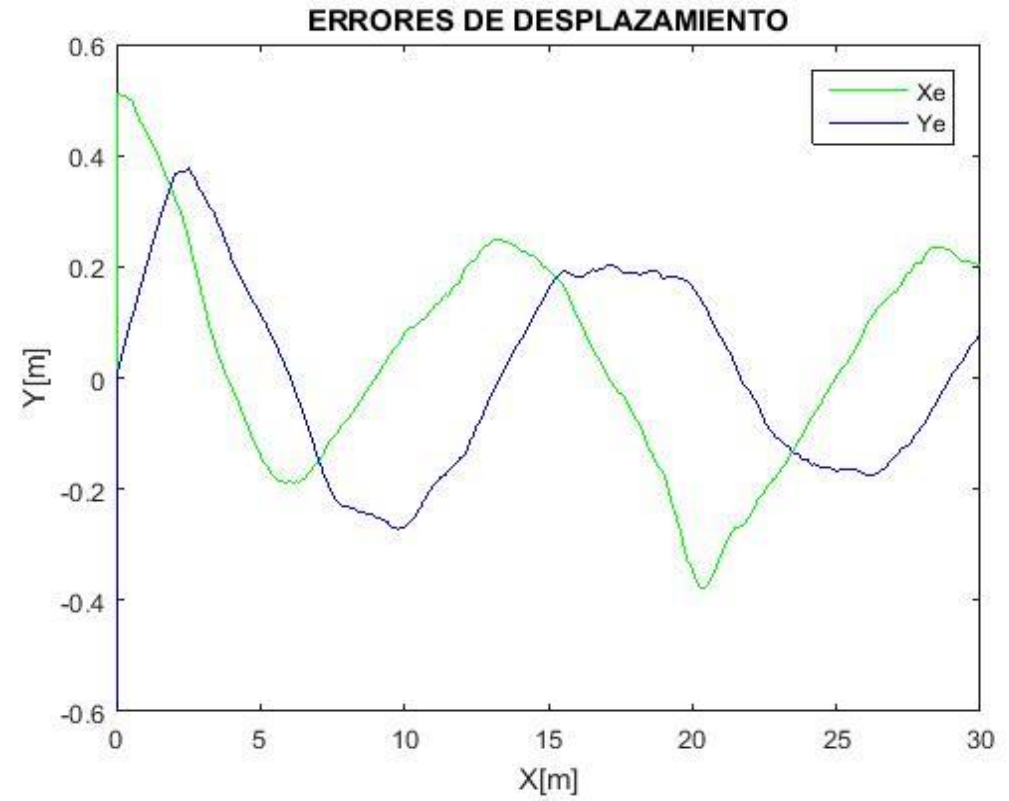
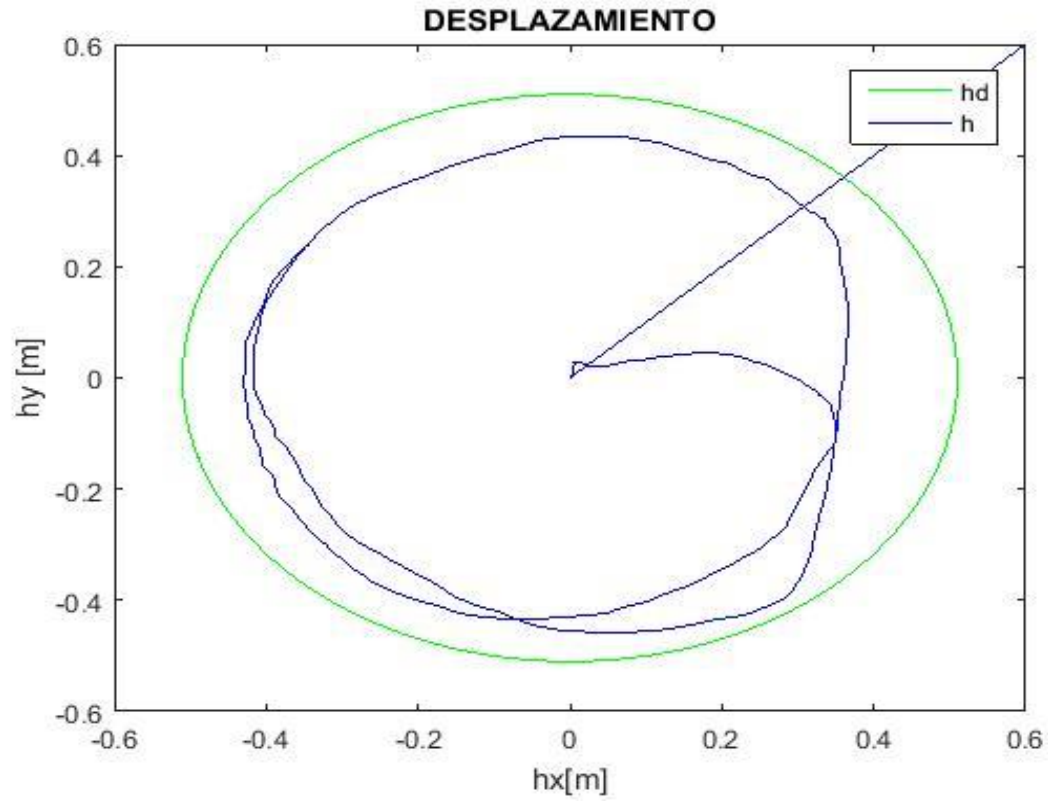
RESULTADOS

CONTROL DINÁMICO 3D



RESULTADOS

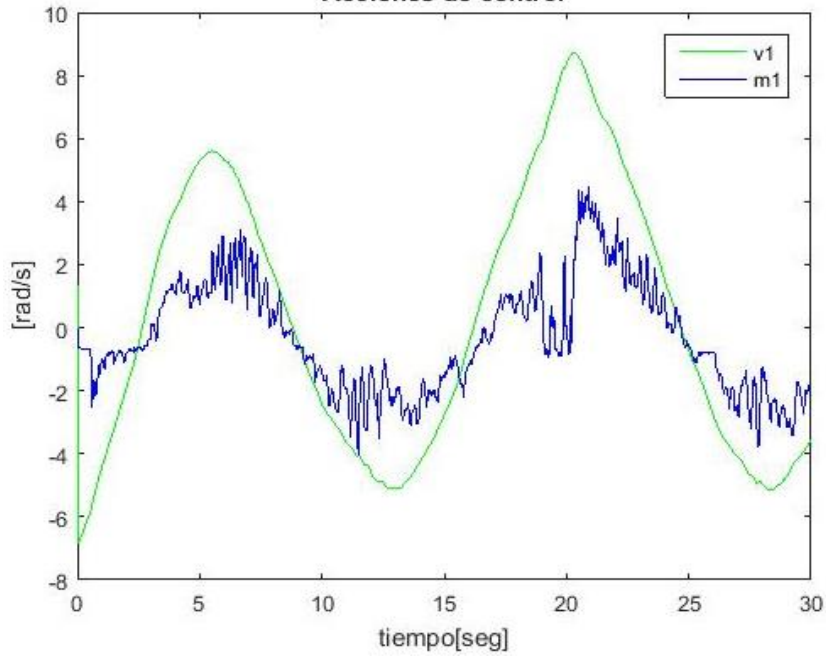
CONTROL DINÁMICO 3D



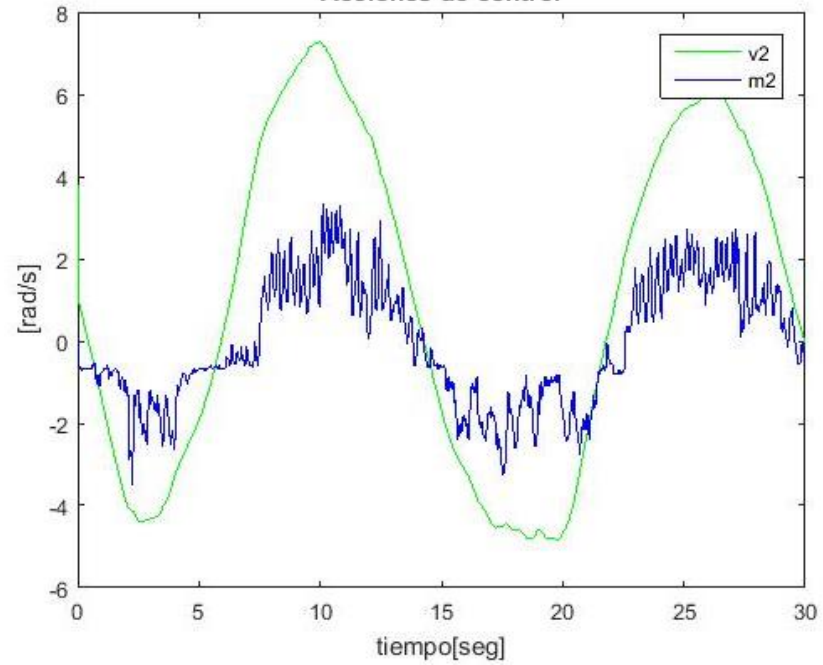
RESULTADOS

CONTROL DINÁMICO 3D

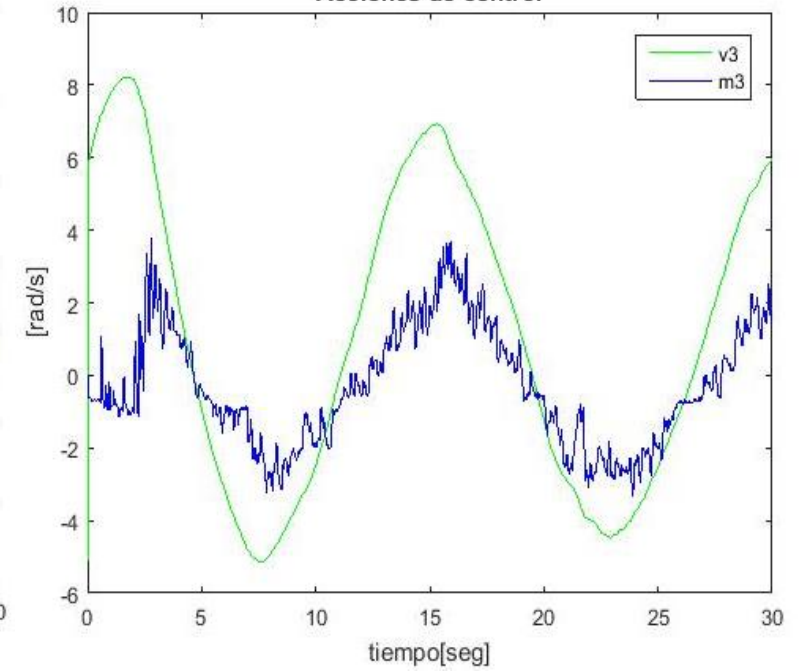
Acciones de control



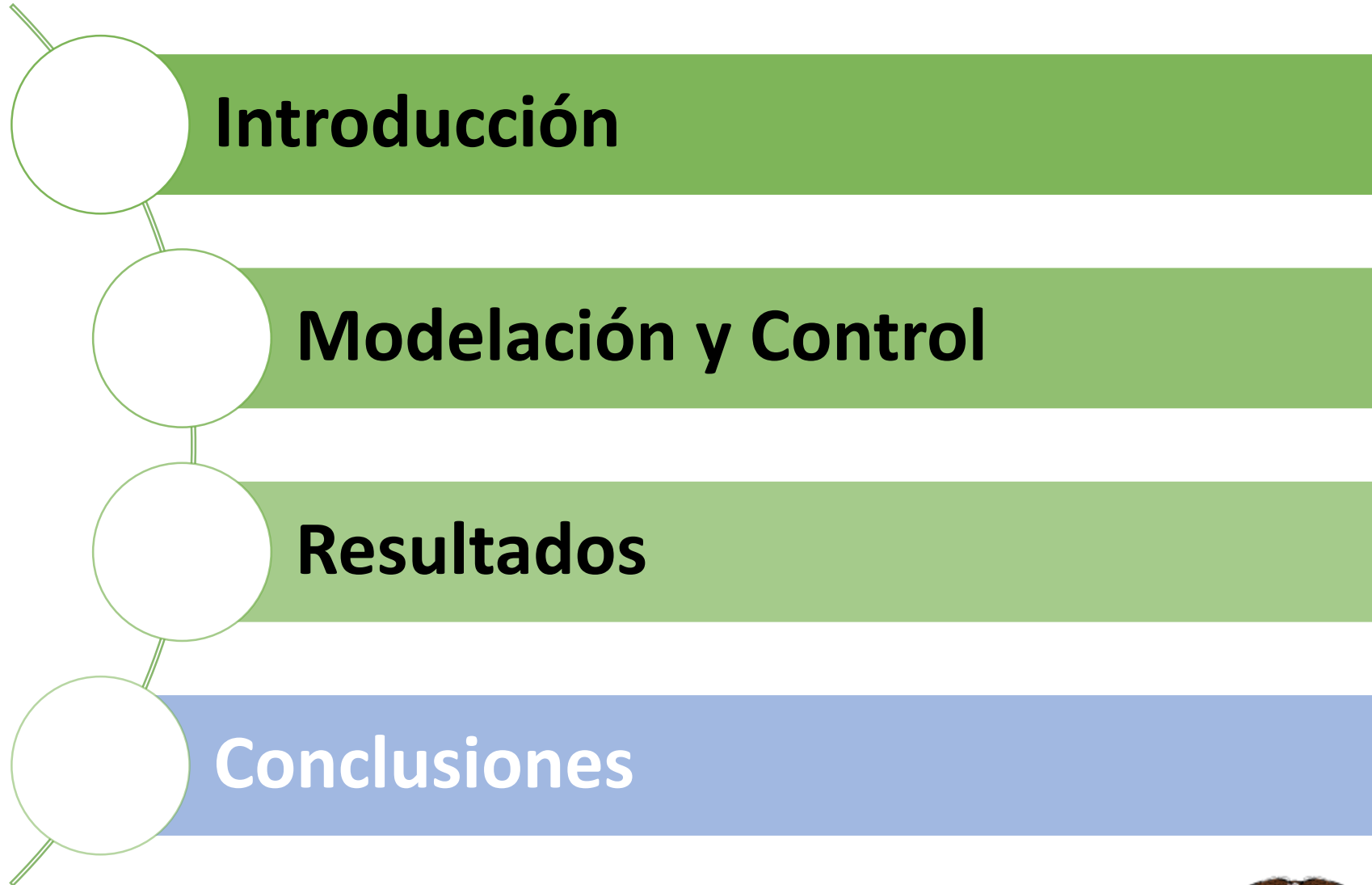
Acciones de control



Acciones de control



AGENDA



CONCLUSIONES

- Existe controles de distinto grado de complejidad según su aplicación final, cada uno de ellos planteados con diferentes técnicas, software y hardware; el control establecido de acuerdo al diseño y construcción del Robot Rueda Esférica tipo Omnidireccional combina varias herramientas de análisis y diseño aportadas por la teoría de servo control (estabilidad de Lyapunov y control PID). Con lo que se obtiene un algoritmo de control capaz de realizar tareas de desplazamiento sobre la esfera por acción del sistema de propulsión.
- La obtención del modelo cinemático y dinámico del Robot Rueda Esférica tipo Omnidireccional se basa en las características del comportamiento del péndulo invertido, radicando su principal diferencia en el sistema de accionamiento el cual debe tener una sincronización de movimientos que permita mantener en equilibrio al robot; con esta referencia se establece las leyes de control PID de equilibrio y desplazamiento necesarias para el cumplimiento de tareas preestablecidas.



CONCLUSIONES

- El algoritmo de control se implementa mediante el diseño y construcción de una tarjeta electrónica la cual permite alimentar a todos los componentes del sistema, acondicionar señales de los sensores, enviar las acciones de control para los actuadores y, establecer la comunicación inalámbrica. El diseño electrónico presenta un alto grado de robustez y eficiencia, lo cual genera confianza en los datos que se adquieren y una respuesta adecuada de las señales que se envían.
- El controlador implementado y la compensación mecánica de ayuda para encontrar el centro de masa del robot representan una solución en aplicaciones de equilibrio y desplazamiento del robot. Se ha incluido el análisis de condiciones de equilibrio para ángulos de inclinación menores a 17° debido a que, para ángulos de mayor inclinación las velocidades de respuesta del controlador son mayores a 1000 rpm lo cual puede producir daños a la estructura.



GRACIAS POR SU ATENCIÓN



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

Control de Rotación Autónoma de un Robot Rueda Esférica tipo Omnidireccional para Tareas de Desplazamiento

Autoras:

Vilma Johana Basantes Basantes
Gabriela Alexandra Bautista Reinoso

Director:

PhD. Víctor Andaluz

