



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD
DE INGENIERÍA

Robótica II

Proyecto Integrador: Robot móvil esférico para inspección interna de tuberías



ANDROID AUTHORITY

Alumnos:

- Molina Matias Exequiel
 - Legajo: 11275
- Pavéz Fabriani Eduardo Martín
 - Legajo: 12735
- Olguin Nahuel
 - Legajo: 12297



Resumen	3
Introducción	3
Antecedentes	3
Objetivos	4
Metodología	4
Cronograma de Actividades	5
Determinación de parámetros cinemáticos	6
Dimensiones y Materiales de la Aplicación	6
Modelo Cinemático	6
Diseño mecánico	7
Modelo Dinámico	8
Dinámica Inversa por Lagrange-Euler	8
Obtención energías	9
Ecuaciones de Lagrange-Euler	10
Dinámica de marcha hacia adelante.	10
Dinámica de giro respecto del eje z.	11
Dinámica Directa	11
Selección de Actuadores , Sensores y Electrónica de Potencia	12
Conjunto Motor-Reductor disco	12
Conjunto Motor-Reductor esfera	14
Placa de potencia	15
Batería	16
Encoder Incremental de 1500 Pulsos	16
Método de Control	18
Trayectorias de aplicación y sus esfuerzos	19
Marcha hacia adelante	19
Giro de 90°	20
Planilla de Costos	21
Mejoras a futuro	23



Resumen

En el presente proyecto, se procederá a desarrollar un robot móvil esférico con mecanismo pendular en su interior, con la finalidad de dedicarlo a la inspección interna de cañerías horizontales o con leve inclinación, de difícil acceso o de ambientes tóxicos para el ser humano. Permitirá en principio, mediante una cámara, observar si en el interior de la cañería hay presencia de corrosión, disminución de espesor o fisuras del material. Posteriormente se podría incorporar en el robot un sistema de radiografía industrial para mejorar las prestaciones del mismo.

El robot se podrá manejar de forma autónoma mediante la incorporación de inteligencia artificial o de forma remota.

La elección del tipo de robot para la aplicación pensada está sustentada en la dificultad de movilidad que presentan otros modelos de robots móviles en superficies cilíndricas.

Introducción

Debido a la dificultad de acceso de las cañerías de gas es costoso realizar una inspección de su interior. En la actualidad esta tarea se realiza sobre el exterior de la misma, a través de ensayos no destructivos tales como radiografía industrial o ensayos ultrasónicos en los cuales los equipos son costosos, así como también lo es la hora hombre por el grado de capacitación requerido. Además las longitudes a inspeccionar suelen ser extensas.

Para disminuir el costo de operación y el tiempo de mantenimiento de las cañerías, se pensó en realizar un robot móvil esférico, con esta forma por su capacidad de giro sobre sí mismo y su capacidad de desplazamiento en superficies cilíndricas.

Este permitirá al usuario ver en tiempo real, las condiciones actuales de la cañería, como pueden ser espesores o posibles fisuras internas y guardar un registro y reporte de la inspección en caso de realizarla de forma automatizada.

Antecedentes

- Squiggle Ball : https://www.youtube.com/watch?v=Ls_fin1IVGY
 - En un juguete el cual carece de control alguno, pero el mismo se basa en el funcionamiento mecánico del robot esférico móvil.
- Mars Ball : <http://edition.cnn.com/2008/TECH/space/10/13/eod.mars.balls/index.html>
 - Es un robot móvil esférico, el cual va a ser enviado a Marte para buscar vida microbiana.
- Roball : https://www.researchgate.net/figure/Second-Roball-prototype_fig2_3412454
 - Roball es un robot esférico diseñado para ser una plataforma para estudiar la interacción niño-robot en entornos abiertos.
- Robot móvil con sistema de adaptación activa para inspección de tuberías: <https://www.youtube.com/watch?v=NKH9povlrsW>
 - Robot con ruedas en disposición radial que permiten ajustar la posición de las mismas a diferentes diámetros, permitiendo incluso ascenso por tuberías verticales.



Objetivos

- Diseñar un robot eficiente en la inspección interna de cañerías.
- Diseñar un modelo capaz de adaptarse para cubrir otras aplicaciones secundarias como pueden ser vigilancia, monitoreo ambiental y exploración planetaria.
- Dotarlo de buena capacidad de ejecución de trayectorias diversas.

Metodología

Tarea	Descripción	Tiempo Estimado
Aplicación y robot	Se definen el problema a resolver como la inspección interna de tuberías y el tipo de robot a implementar para esto como el robot esférico.	1 semana
Especificación robot y parámetros cinemáticos.	Se especifican los primeros detalles en cuanto a la estructura del robot. Se determinan sus ecuaciones cinemáticas.	2 semanas
Modelado dinámico y simulaciones.	Se desarrolla el Modelo dinámico inverso y directo del robot considerando simplificaciones. Se realizan simulaciones para estimar el funcionamiento físico del mismo y detectar errores de diseño. Se estiman torques requeridos para trayectorias rectas y de giro en su lugar.	4 semanas
Selección de actuadores y sensores.	Se seleccionan los actuadores con los datos obtenidos de la dinámica inversa, con la trayectoria más desfavorable para cada actuador.	1 semana
Método de control	Se plantea un control monoarticular con PI de posición realimentada por encoders en cada motor.	1 semana
Elaboración de planilla de costos y cronograma de actividades	Se elabora una planilla con los costos necesarios para producir el prototipo funcional y el cronograma de las tareas a realizar para lograr los objetivos deseados.	1 semana



Cronograma de Actividades

Actividades	Tiempo en Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Definir aplicación a resolver y el robot a implementar.	■									
Especificar cómo va a ser la estructura del robot y sus parámetros cinemáticos.		■	■							
Realizar el modelo dinámico inverso y directo y simular el robot en Webots.				■	■	■	■			
Seleccionar actuadores y sensores, a partir de los datos dinámicos previamente calculados.								■		
Diseñar el método de control a implementar.									■	
Elaborar la planilla de costos del proyecto tanto recursos humanos como materiales.										■



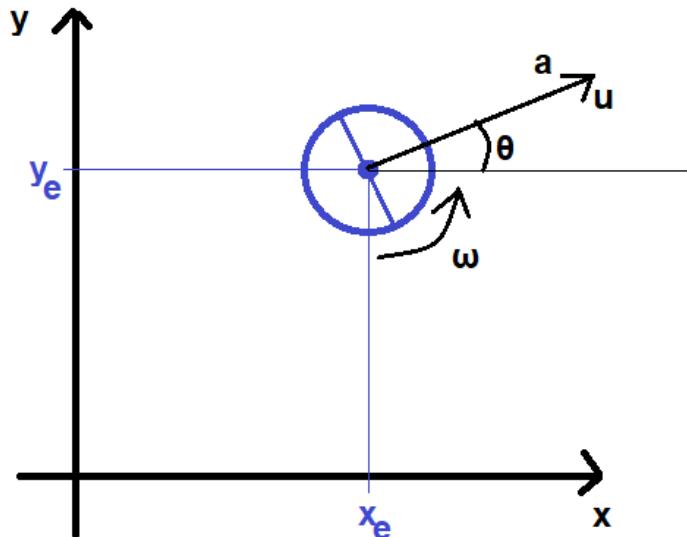
Determinación de parámetros cinemáticos

Dimensiones y Materiales de la Aplicación

- Gasoducto:
 - Diámetro = 914,4 mm (36 pulg)
 - Tramos de 12 m
 - Distancia a inspeccionar= 10 km
 - Material: caño de acero revestido con *Polietileno extruido*.
- Esfera:
 - Diámetro=200 mm
 - Espesor =10 mm
 - Material: Acetal
 - ★ Coeficiente de fricción estático con el acero=0,25
 - ★ Alta resistencia mecánica, rigidez y dureza
 - ★ Transparente
- Velocidad de Inspección= 1 km/h
- Alcance de la velocidad objetivo en 5 segundos.

Modelo Cinemático

Se plantea un sistema de referencia espacial fijo y se analiza desde una vista superior las ecuaciones cinemáticas del robot. Se toma como punto de análisis el centro geométrico de la esfera, que tendrá altura fija en z.



$$\left\{ \begin{array}{l} z_e = \text{ctte} \\ \dot{x}_e = u \cdot \cos(\theta) \\ \dot{y}_e = u \cdot \sin(\theta) \\ a = \dot{u} \\ \omega = \dot{\theta} \\ \alpha = \ddot{\omega} \end{array} \right.$$

Figura 1. Robot analizado en sistema de referencia espacial fijo



Diseño mecánico

El sistema propuesto posee 2 motores. Se procede a describirlo a partir del siguiente esquema, en donde se observa el **péndulo y disco interno** de la esfera.

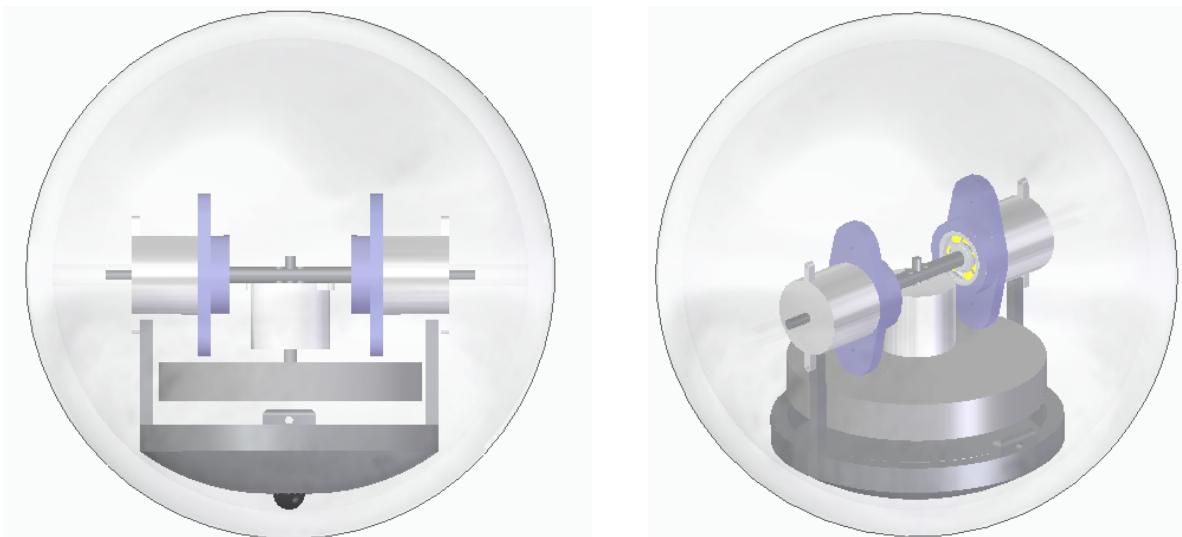


Figura 2. Vistas propuesta del diseño mecánico en Solid Edge

Se dispone de un moto-reductor que permite la rotación del péndulo provocando el avance o retroceso en dirección frontal. En el extremo opuesto una articulación pasiva que acompaña el movimiento. Para que el moto-reductor y la articulación pasiva no soporten en su eje una fuerza transversal del peso del péndulo, se agrega una rueda loca tipo bola en la parte inferior del péndulo que esté en permanente contacto con la superficie interna de la esfera y un soporte para la cámara de inspección, el microcontrolador y la electrónica.

El otro motor se encuentra en la zona superior del péndulo y debajo del eje libre, y posee acoplado a su eje un disco de inercia. El mismo permitiría giros de la esfera sobre sí misma en reposo para poder maniobrar en zonas de difícil acceso y en movimiento de avance permitiría girar como un automóvil.

El motor del disco está sujeto a un eje libre sostenido por rodamientos. Esto permite que el disco de inercia se mantenga siempre alineado con su propio peso y no se vea afectado por los giros de la esfera ni del péndulo, de esta manera transmitiendo un giro sobre el eje z de la esfera constantemente.

Así se logran cubrir 3 grados de libertad espaciales y además, la posibilidad de giro tanto en movimiento como estando en reposo.



Modelo Dinámico

Dinámica Inversa por Lagrange-Euler

Se desarrolla el modelo dinámico con las ecuaciones de Lagrange-Euler. Se parte del siguiente esquema y se obtienen las energías cinéticas y potenciales.

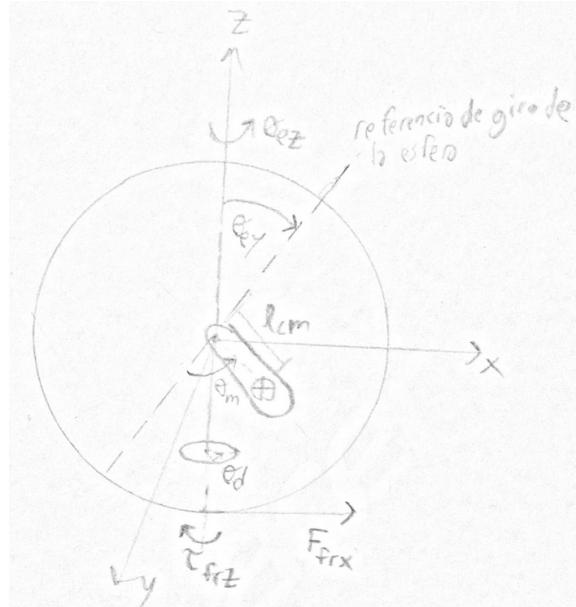


Figura 3. Esquema abstracto de un plano de corte de la esfera

Los ejes tienen su origen en el centro geométrico de la esfera, que además se considera coincidente con el centro de masa de la misma (se agregarán compensaciones de masa para lograrlo). El eje z siempre apunta en dirección vertical del marco absoluto de referencia, es decir en sentido contrario a la Tierra.

El eje x apunta siempre en dirección perpendicular tanto al eje z como al eje de giro principal de la esfera, es decir en dirección de avance. El eje y es perpendicular a estos 2 últimos ejes.

Las variables a considerar son:

θ_m : Giro del motor del péndulo=Desplazamiento angular del péndulo respecto de la esfera en eje y

θ_d : Desplazamiento angular de la esfera en el eje y

θ_d : Giro del motor del disco=Desplazamiento angular del disco respecto de la esfera en eje z

θ_{ez} : Desplazamiento angular de la esfera en el eje z

Además los parámetros son:

- Péndulo:

- Masa $m_p = 1,02 \text{ kg}$
- Distancia del punto de giro al centro de masa $l_{cm} = 42\text{mm}$
- Inercia respecto del eje y $I_{py} = 0,004 \text{ kg.m}^2$



- Disco
 - Masa $m_d = 1,39 \text{ kg}$
 - Radio $R = 50\text{mm}$
 - Inercia respecto del eje z $I_{dz} = 0,002 \text{ kg.m}^2$
- Esfera
 - Masa $m_e = 1,35 \text{ kg}$
 - Radio $R = 100\text{mm}$
 - Inercia respecto del eje y $I_{ey} = 0,008 \text{ kg.m}^2$
 - Inercia respecto del eje z $I_{ez} = 0,010 \text{ kg.m}^2$

Obtención energías

Para el cálculo de la Energía potencial se considera solo elevación del péndulo ya que la esfera trabajará en tuberías horizontales.

$$U = m_p \cdot g \cdot l_{cm} \cdot (1 - \cos(\theta_m - \theta_{ey}))$$

Para el cálculo de la energía cinética se descompone en la del disco, la del péndulo y la de la esfera como cuerpos rígidos con movimientos relativos solo entre ellos, y a su vez en cada uno se descompone por la energía cinética rotacional y translacional.

$$T = T_d + T_p + T_e$$

$$T_i = T_{i-trasl} + T_{i-rot}$$

$$T_{d-trasl} = \frac{1}{2} \cdot m_d \cdot (\dot{\theta}_{ey} \cdot R)^2$$

$$T_{d-rot} = \frac{1}{2} \cdot I_{dz} \cdot (\dot{\theta}_d + \dot{\theta}_{ez})^2$$

$$T_{e-trasl} = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot (\dot{\theta}_{ey} \cdot R)^2$$

$$T_{e-rot} = \frac{1}{2} \cdot I_{ez} \cdot \dot{\theta}_{ez}^2 + \frac{1}{2} \cdot I_{ey} \cdot \dot{\theta}_{ey}^2$$

$$T_{p-trasl} = \frac{1}{2} \cdot m_p \cdot v_{p-cm}^2$$

$$T_{p-rot} = \frac{1}{2} \cdot I_{pz} \cdot \dot{\theta}_{ez}^2 + \frac{1}{2} \cdot I_{py} \cdot (\dot{\theta}_m - \dot{\theta}_{ey})^2$$

Para obtener la velocidad del centro de masa del péndulo se descompone en los ejes:

$$v_{p-cmx} = \dot{\theta}_{ey} \cdot R + (\dot{\theta}_m - \dot{\theta}_{ey}) \cdot l_{cm} \cdot \cos(\theta_m - \theta_{ey})$$

$$v_{p-cmy} = \dot{\theta}_{ez} \cdot l_{cm} \cdot \sin(\theta_m - \theta_{ey})$$

$$v_{p-cmz} = (\dot{\theta}_m - \dot{\theta}_{ey}) \cdot l_{cm} \cdot \sin(\theta_m - \theta_{ey})$$

Elevando al cuadrado, sumando y reemplazando en $T_{p-trasl}$ se obtiene

$$T_{p-trasl} = \frac{1}{2} \cdot m_p \cdot [(\dot{\theta}_{ey} \cdot R)^2 + 2 \cdot \dot{\theta}_{ey} \cdot R \cdot (\dot{\theta}_m - \dot{\theta}_{ey}) \cdot l_{cm} \cdot \cos(\theta_m - \theta_{ey}) + (\dot{\theta}_m - \dot{\theta}_{ey})^2 \cdot l_{cm}^2 + \dot{\theta}_{ez}^2 \cdot l_{cm}^2 \cdot \sin^2(\theta_m - \theta_{ey})]$$

y finalmente el lagrangiano resulta



$$L = T - U = T_{d-trasl} + T_{p-trasl} + T_{e-trasl} + T_{d-rot} + T_{p-rot} + T_{e-rot} - U$$

Ecuaciones de Lagrange-Euler

Siendo la ecuación de Lagrange-Euler:

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

Se obtienen los torques de los motores

Derivando respecto a θ_m

$$\begin{aligned} \tau_m - F_{frx} \cdot R &= m_p \cdot g \cdot l_{cm} \cdot \sin(\theta_m - \theta_{ey}) + \ddot{\theta}_m \cdot (I_{py} + m_p \cdot l_{cm}^2) + \ddot{\theta}_{ey} \cdot (m_p \cdot l_{cm} \cdot R \cdot \cos(\theta_m - \theta_{ey}) - I_{py} - m_p \cdot l_{cm}^2) + \\ &+ 2 \cdot \dot{\theta}_{ey}^2 \cdot R \cdot l_{cm} \cdot m_p \cdot \sin(\theta_m - \theta_{ey}) + \dot{\theta}_{ez}^2 \cdot \sin(\theta_m - \theta_{ey}) \cdot \cos(\theta_m - \theta_{ey}) \cdot m_p \cdot l_{cm}^2 - \\ &- 2 \dot{\theta}_m \cdot \dot{\theta}_{ey} \cdot \sin(\theta_m - \theta_{ey}) \cdot m_p \cdot R \cdot l_{cm} \end{aligned} \quad (\text{Ec. 1})$$

Derivando respecto a θ_{ey} y combinando con ecuación anterior

$$\begin{aligned} \tau_m - F_{frx} \cdot R &= \frac{1}{2} [\ddot{\theta}_{ey} \cdot (I_{ey} + R^2 \cdot (m_p + m_d + m_e) - R \cdot l_{cm} \cdot m_p \cdot \cos(\theta_m - \theta_{ey})) + \ddot{\theta}_m \cdot m_p \cdot l_{cm} \cdot R \cdot \cos(\theta_m - \theta_{ey}) + \\ &+ \dot{\theta}_{ey}^2 \cdot R \cdot l_{cm} \cdot m_p \cdot \sin(\theta_m - \theta_{ey}) - \dot{\theta}_m^2 \cdot R \cdot l_{cm} \cdot m_p \cdot \sin(\theta_m - \theta_{ey})] \end{aligned} \quad (\text{Ec. 2})$$

Derivando respecto a θ_d

$$\tau_d + \tau_{frz} = I_{dz} \cdot (\ddot{\theta}_d + \ddot{\theta}_{ez}) \quad (\text{Ec. 3})$$

Derivando respecto a θ_{ez}

$$\begin{aligned} -\tau_d - \tau_{frz} &= \ddot{\theta}_{ez} \cdot (I_{ez} + I_{dz} + I_{pz} + m_p \cdot l_{cm}^2 \cdot \sin^2(\theta_m - \theta_{ey})) + \ddot{\theta}_d \cdot I_{dz} + \dot{\theta}_m \cdot \dot{\theta}_{ez} \cdot \sin(2\theta_m - 2\theta_{ey}) \cdot l_{cm}^2 \cdot m_p - \\ &- \dot{\theta}_{ey} \cdot \dot{\theta}_{ez} \cdot \sin(2\theta_m - 2\theta_{ey}) \cdot l_{cm}^2 \cdot m_p \end{aligned} \quad (\text{Ec. 4})$$

A continuación se analizará la dinámica en marcha hacia adelante y la dinámica de giro como movimientos separados. Esto implicaría que debe frenarse la esfera antes de realizar cualquiera de los dos y no se consideran sus efectos acoplados. Dado que a la hora de elegir el torque de trabajo se utilizará un factor de seguridad, en la realidad sí podrán realizarse los movimientos en simultáneo para desarrollar trayectorias más complejas.

Dinámica de marcha hacia adelante.

Al sistema de 4 ecuaciones anterior, se impone θ_{ez}, θ_d y sus derivadas en cero. Además:

$\theta_m = \theta_{ey} + \theta_{incl}$ con θ_{incl} ctte (inclinación del péndulo respecto de la vertical)

$$\dot{\theta}_m = \dot{\theta}_{ey}$$

$$\ddot{\theta}_m = \ddot{\theta}_{ey}$$

Las simplificaciones anteriores son válidas porque indican un movimiento progresivo del péndulo que acompaña al giro de la esfera desviándose levemente de este (por eso aparece θ_{incl}) y sus velocidades y aceleraciones se asumen iguales.

Así la dinámica en marcha hacia adelante se reduce a



$$\tau_m = F_{frx} \cdot R + m_p \cdot g \cdot l_{cm} \cdot \sin(\theta_{incl}) + m_p \cdot R \cdot l_{cm} \cdot \ddot{\theta}_{ey} \cdot \cos(\theta_{incl}) \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\tau_m = F_{frx} \cdot R + \frac{1}{2} \ddot{\theta}_{ey} \cdot (R^2(m_p + m_d + m_e) + I_{ey}) \quad (\text{Ec. 6})$$

De la segunda ecuación se puede ver que τ_m debe ser superior a $F_{frx} \cdot R$ para que haya aceleración de la esfera, y nos permite calcular el torque necesario del motor dada una trayectoria esperada de la misma. Esto condice con la realidad, ya que para salir del estado estático debe vencerse la fricción estática que mantiene a la esfera quieta.

En la primer ecuación se puede obtener el ángulo de inclinación del péndulo al cuál se estabilizará una vez que la aceleración de la esfera se haga cero y se haya alcanzado marcha a velocidad constante.

Debe notarse que la Fuerza de fricción será diferente según se encuentre en movimiento o iniciándose.

Dinámica de giro respecto del eje z.

Imponiendo estaticidad de movimiento antes de realizar el giro se toman las ecuaciones de Lagrange Euler y se reemplaza $\dot{\theta}_m, \dot{\theta}_{ey}$ y sus derivadas en cero. Luego se obtiene:

$$\begin{aligned} \tau_d + \tau_{frz} &= I_{dz} \cdot (\ddot{\theta}_d + \ddot{\theta}_{ez}) \\ -\tau_d - \tau_{frz} &= \ddot{\theta}_{ez} \cdot (I_{ez} + I_{dz} + I_{pz}) + \ddot{\theta}_d \cdot I_{dz} \end{aligned}$$

Sumando ambas ecuaciones y despejando

$$\ddot{\theta}_d = -\ddot{\theta}_{ez} \cdot \left(1 + \frac{I_{ez} + I_{pz}}{2 \cdot I_{dz}}\right)$$

Que reemplazando en la primera de ellas resulta en

$$\tau_d = -\tau_{frz} - \ddot{\theta}_{ez} \cdot (I_{ez} + I_{pz}) \cdot \frac{1}{2} \quad (\text{Ec. 7})$$

Analizando la dirección asumida en el esquema para el torque de fricción y para el torque del motor del disco se puede notar que en un giro normal ambos torques tendrán signo opuesto, por lo que tomando sus magnitudes se puede ver que debe cumplirse $|\tau_d| > |\tau_{frz}|$ para iniciar el movimiento.

Dinámica Directa

A partir de las ecuaciones 1,2,3 y 4 de la Dinámica Inversa se despejan las aceleraciones de las 4 variables para obtener el modelo dinámico directo.

De la Ec. 3 se despeja $\ddot{\theta}_d$ que reemplazando en la Ec. 4 nos devuelve

$$\begin{aligned} -\tau_d - \tau_{frz} &= \ddot{\theta}_{ez} \cdot (I_{ez} + I_{dz} + I_{pz} + m_p \cdot l_{cm}^2 \cdot \sin^2(\theta_m - \theta_{ey})) + \left(\frac{\tau_d + \tau_{frz}}{I_{dz}} - \ddot{\theta}_{ez}\right) \cdot I_{dz} + \dot{\theta}_m \cdot \dot{\theta}_{ez} \cdot \sin(2\theta_m - 2\theta_{ey}) \cdot l_{cm}^2 \cdot m_p - \\ &\quad - \dot{\theta}_{ey} \cdot \dot{\theta}_{ez} \cdot \sin(2\theta_m - 2\theta_{ey}) \cdot l_{cm}^2 \cdot m_p \end{aligned}$$

y reacomodando se obtiene:



$$\ddot{\theta}_{ez} = -\frac{1}{(I_{ez} + I_{pz} + m_p \cdot l_{cm}^2 \cdot \sin^2(\theta_m - \theta_{ey}))} \cdot [2 \cdot \tau_d + 2 \cdot \tau_{frz} + \dot{\theta}_m \cdot \dot{\theta}_{ez} \cdot \sin(2\theta_m - 2\theta_{ey}) \cdot l_{cm}^2 \cdot m_p - \\ - \dot{\theta}_{ey} \cdot \dot{\theta}_{ez} \cdot \sin(2\theta_m - 2\theta_{ey}) \cdot l_{cm}^2 \cdot m_p] \quad (\text{Ec. 8})$$

Reemplazando en la ec anterior la Ec.3 y reacomodando

$$\ddot{\theta}_d = (\tau_d + \tau_{frz})/I_{dz} + \frac{1}{(I_{ez} + I_{pz} + m_p \cdot l_{cm}^2 \cdot \sin^2(\theta_m - \theta_{ey}))} \cdot [2 \cdot \tau_d + 2 \cdot \tau_{frz} + \dot{\theta}_m \cdot \dot{\theta}_{ez} \cdot \sin(2\theta_m - 2\theta_{ey}) \cdot l_{cm}^2 \cdot m_p - \\ - \dot{\theta}_{ey} \cdot \dot{\theta}_{ez} \cdot \sin(2\theta_m - 2\theta_{ey}) \cdot l_{cm}^2 \cdot m_p] \quad (\text{Ec. 9})$$

Luego de la combinación de despejar $\ddot{\theta}_m$ en la Ec. 1, reemplazarlo en la Ec.2 y despejar $\ddot{\theta}_{ey}$ se obtiene una expresión tal que:

$$\ddot{\theta}_{ey} = f(\tau_d, \theta_m, \dot{\theta}_{ey}, \dot{\theta}_{ey}, \dot{\theta}_m, \dot{\theta}_{ez}, F_{frx})$$

y análogamente al despejar $\ddot{\theta}_m$ en la Ec. 1, reemplazarlo en la Ec.2 y despejar $\ddot{\theta}_m$ se obtiene

$$\ddot{\theta}_m = f(\tau_d, \theta_m, \dot{\theta}_{ey}, \dot{\theta}_{ey}, \dot{\theta}_m, \dot{\theta}_{ez}, F_{frx})$$

No se desarrollan estas últimas dos ecuaciones al tratarse de un procedimiento algebraico similar a las Ec. 8 y Ec. 9 solo con expresiones más extensas.

Selección de Actuadores , Sensores y Electrónica de Potencia

Conjunto Motor-Reductor disco

Overview

Essential details

Warranty:	Other	Place of Origin:	Ningbo,CHINA
Brand Name:	DoncERNs	Model Number:	SG-555
Usage:	BOAT, Car, Electric Bicycle, FAN, Home Appliance	Type:	BRUSH/BRUSHLESS MOTOR
Torque:	1.5kgfcm-30.0kgfcm	Construction:	Permanent Magnet
Commutation:	Brush	Protect Feature:	Waterproof
Speed(RPM):	1-1000rpm	Continuous Current(A):	0-3A
Efficiency:	50%-88%	Product Name:	SG-555 DC Gear Motor
Brush Type:	Metal Carbon Brush	Gearbox Diameter:	37mm
Gearbox Material:	Steel	Shaft Diameter:	Customized
Rated Voltage:	12/24V	Rated Power:	0-15W
Noise:	Low Noise Level	Certification:	CE/ROHS, ce, RoHS
Application:	BOAT/CAR/ELECTRIC BICYCLE/FAN/HOME		



Product Parameters

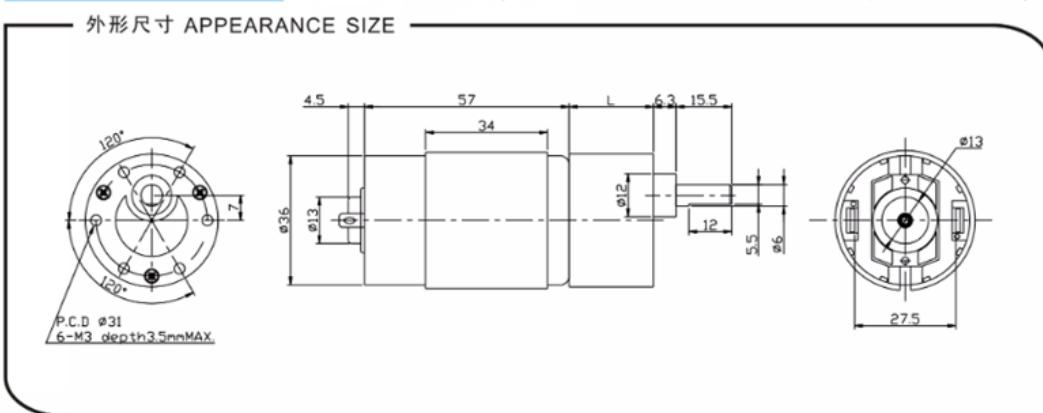


SG-555 直流减速电机 DC GEAR MOTOR Series **Doncen**

电压/Main voltage: 3VDC、6VDC、9VDC、12VDC、24VDC、36VDC
用途/Typical applications: 自动百叶窗、自动售货机、点钞机、装订机、移动电视机架、包装机、舞台灯光、纸币机、办公设备、家用电器、执行器
 Auto shutter, Money detector, Binding machine, Automatic TV rack, Packing bank note machine, Stage Lighting, Tissue machine, Office equipment, Household appliances, Automatic actuator.

重量/Weight: 350~400g/pcs(approx)

包装外形尺寸/Packing details: CTN size: 27.5X26XH22.5cm 40pcs/CTN G.W.15kgs



齿轮箱数据 Gearbox data

减速箱级数 Number of stages	2、3 减速比 Stages reduction	4、5 减速比 Stages reduction	6、7 减速比 Stages reduction
减速比 Reduction ratio	6、10; 20、30	60、90; 120、180、270	360、540、810
齿轮箱长度 Gearbox length "L" mm	23.5	26 28	30
最大运转力矩 Max. Running torque	2kgf.cm	10kgf.cm	10kgf.cm
最大破坏力矩 Max. Gear breaking torque	8kgf.cm	30kgf.cm	30kgf.cm
最高齿轮效率 Max. Gearing efficiency	81%; 73%	65%; 59%	53%; 48%

其它减速比请致电或邮件给我司技术部 Other reduction ratio please telephone or e-mail to our engineering department.

马达参数 Motor data

马达型号 Motor Model	电 压 Rated Volt. V	空 载 No load		负 载 Load torque				堵 转 Stall torque	
		电 流 Current	转 速 Speed	电 流 Current	转 速 Speed	扭 矩 Torque	输出功 率 Output power	扭 矩 Torque	电 流 Current
		mA	r/min	mA	r/min	gf. cm	W	gf. cm	MA
SG-555123000	12	≤140	3000	≤800	2200	150	3.3	600	3000
SG-555124500	12	≤220	4500	≤1200	3300	220	7.2	880	4800
SG-555126000	12	≤350	6000	≤2000	4500	300	13.5	1200	6000
SG-555243000	24	≤70	3000	≤400	2200	150	3.3	600	1600
SG-555244500	24	≤110	4500	≤600	3300	220	7.2	880	3000
SG-555246000	24	≤180	6000	≤1000	4500	300	13.5	1200	4000

• 这张表格只列出部分电机参数，想了解更多具体参数请参照95页。

• This table lists some motors parameters, others please refer to specific parameters of Page 95.

• 马达和齿轮箱装配成减速电机后输出扭矩 = 马达扭矩×减速比×齿轮效率;输出转速 = 马达转速 / 减速比。

• After connecting motor and gearbox which is named gearmotor the output torque: motor torque × reduction ratio × gearing efficiency;



$$\tau_1 \cdot n_1 = \tau_2 \cdot n_2$$

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\tau_2}{\tau_1}$$

$$n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{3300 \text{ rpm}}{60} = 55 \text{ rpm}$$

$$\tau_2 = \tau_1 \cdot i = 0,0216 \text{ Nm. } 60 = 1,296 \text{ Nm}$$

$$\tau_{\text{util}} = \tau_2 \cdot \eta_{\text{transmisión}} = 1,296 \text{ Nm. } 0,65 = 0,8424 \text{ Nm}$$

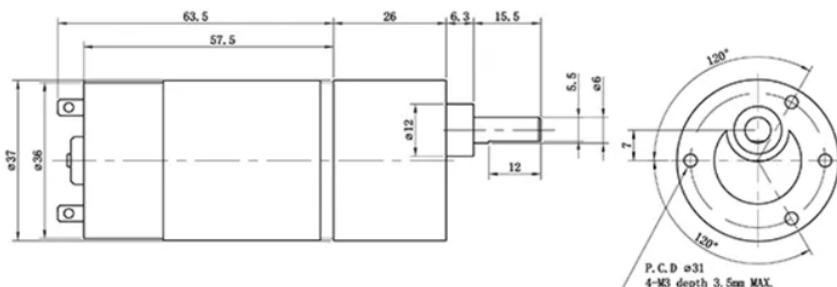
- Motor SG-5552445000
- Voltaje= 24 v
- Corriente nominal= 300 mA
- Potencia nominal=7,2 W
- 4 etapas de reducción
- Relación de reducción i=60
- Rendimiento 65%.
- $\tau_{\text{util}} = 0,8424 \text{ Nm}$, torque en la articulación
- $n_2 = 55 \text{ rpm}$, velocidad en la articulación
- precio 5,5 USD

Conjunto Motor-Reductor esfera

Overview

Essential details

Warranty:	Other	Place of Origin:	Ningbo,CHINA
Brand Name:	DoncERNs	Model Number:	SG-555
Usage:	BOAT, Car, Electric Bicycle, FAN, Home Appliance, SM...	Type:	GEAR MOTOR
Torque:	0.1-100kgf.cm	Construction:	Permanent Magnet
Commutation:	Brush	Protect Feature:	Waterproof
Speed(RPM):	1-1000rpm	Continuous Current(A):	~2A
Efficiency:	IE 2	Product Name:	DC Spur Brush Gear Motor
Brush Type:	Metal Carbon Brush	Gearbox Diameter:	37mm
Gearbox Material:	Steel	Shaft Diameter:	Customized
Rated Voltage:	12/24V	Rated Power:	15w
Noise:	Low Noise Level	Certification:	CE/ROHS, ce, RoHS
Application:	Home Appliance, Automatic		



Product Parameters

Gearbox Specification:

Diameter	37mm		
Material	Metal		
Gear	Powder metallurgy	Steel gear	
Output Torque	0-10N.m		
Operating Temperature	-20°C-85°C		
Gear Stages	2, 3	4, 5	6, 7
Reduction Ratio	6, 10; 20, 30	60, 90; 120, 180, 270	360, 540, 810
Gearbox Length (mm)	23.5	26, 28	30
Max Running Torque	10kgf.cm	50kgf.cm	50kgf.cm
Gear Breaking Torque	30kgf.cm	100kgf.cm	100kgf.cm
Gearing Efficiency	81%; 73%	65%; 59%	53%; 48%

$$\tau_1 \cdot n_1 = \tau_2 \cdot n_2$$

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\tau_2}{\tau_1}$$

$$n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{3300 \text{ rpm}}{120} = 27,5 \text{ rpm}$$

$$\tau_2 = \tau_1 \cdot i = 0,0216 \text{ Nm. } 120 = 2,59 \text{ Nm}$$

$$\tau_{\text{util}} = \tau_2 \cdot \eta_{\text{transmisión}} = 2,59 \text{ Nm. } 0,59 = 1,528 \text{ Nm}$$

- Motor SG-5552445000
- Voltaje= 24 v
- Corriente nominal= 300 mA
- Potencia nominal=7,2 W
- 5 etapas de reducción
- Relación de reducción i=120
- Rendimiento 59%.
- Precio 5,2 USD

Placa de potencia

Puente H L293D

L293D - L293DD

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _S	Supply Voltage	36	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage	36	V
V _I	Input Voltage	7	V
V _{en}	Enable Voltage	7	V
I _o	Peak Output Current (100 μs non repetitive)	1.2	A
P _{tot}	Total Power Dissipation at T _{pins} = 90 °C	4	W
T _{stg} , T _j	Storage and Junction Temperature	- 40 to 150	°C

Precio 1,4 USD



Batería

Turnigy 5000mAh 6S 40C LiPo Pack w/ XT90

Spec.

Minimum Capacity: **5000mAh**

Configuration: **6S1P / 22.2v / 6Cell**

Constant Discharge: **40C**

Peak Discharge (10sec): **80C**

Pack Weight: **805g**

Pack Size: **144x51x56mm**

Charge Plug: **JST-XHP**

Discharge plug: **XT90**

- Precio 65,99 USD
- $Autonomía = \frac{Capacidad_{Total}}{Corriente_{Consumida}} = \frac{5000\text{ mAh}}{600\text{ mA}} = 8,33\text{ h}$

Encoder Incremental de 1500 Pulses



Alimentación: 5 - 24 VDC

Pulsos: 1500 P/R

Corriente: <100 mA

Salida: Push Pull, Colector Abierto (NPN)

Modelo: Incremental

Diámetro Exterior: 30 mm

Diámetro del Eje: 6 mm

Par de Arranque: 2 x10^-3 N*m (25°C)

Carga Máxima: 9.8 N

Número Máximo de Revoluciones: 5000 rpm

Temperatura de Trabajo: -20° ~ +70°

Frecuencia de respuesta: 0 ~ 100 KHz

GT-U7 GPS module navigation satellite positioning compatible NEO-6M



Features:

GT-U7 module, with high sensitivity, low power consumption.

Miniaturization, its extremely high tracking sensitivity greatly expanded its positioning of the coverage.

In the ordinary GPS receiver module can not locate the place, such as narrow urban sky, dense jungle environment, GT-U7 can be high-precision positioning.

Module with high sensitivity, small static drift, low power and lightweight volume.

With IPEX antenna interface, the default distribution of active antenna, can be quickly positioned

Operating voltage: 3.6V-5V (or direct usb power supply)

Operating baud rate: 9600 (can be modified)

Onboard rechargeable button battery

Onboard E2PROM can save parameter data

NEMA output format is compatible with NEO-6M

Size: 27.6mm * 26.6mm can be inserted or selected patch (with positioning holes)



Método de Control

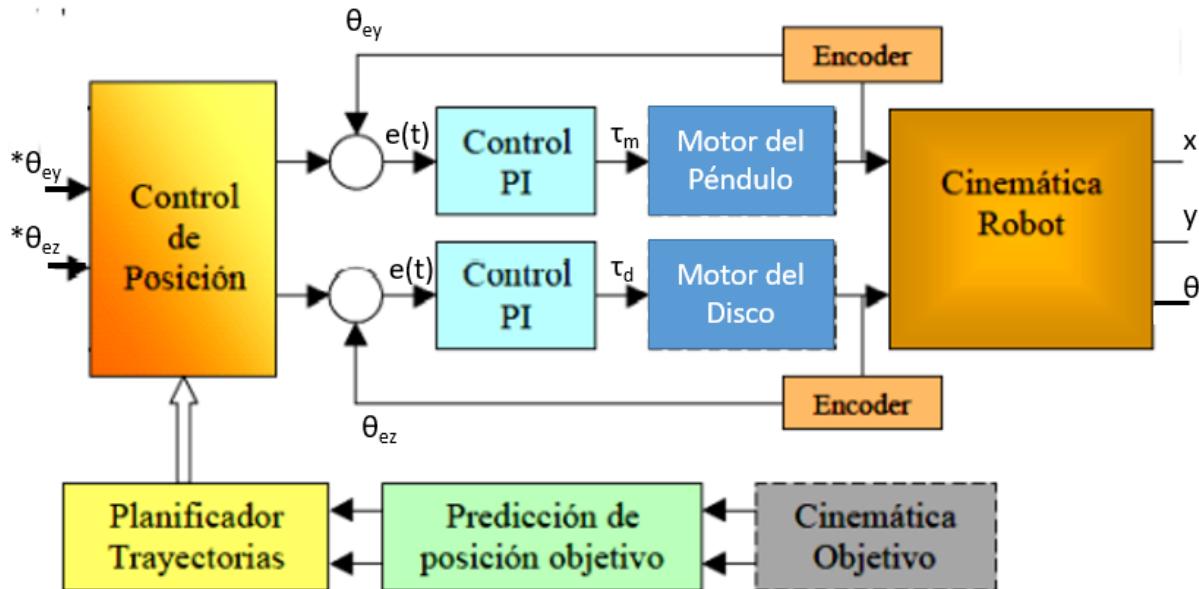


Figura 4. Esquema de control monoarticular

Para controlar la posición del robot se hará uso de un control PI monoarticular. Se realizó la elección de un control PI de posición debido a que se trata de un robot móvil el cual transita sobre terrenos potencialmente irregulares, en donde un control derivativo se vería amplificado debido a la presencia del ruido generando inestabilidad en el sistema. Para realimentar el sistema se utilizan encoders rotativos.

Por otro lado se decidió optar por un control monoarticular debido a que se realizarán trayectorias en donde los motores no deben actuar simultáneamente sobre el mecanismo, es decir, solo trayectorias que involucran movimientos rectos y rotaciones sobre su propio eje. Además el sistema posee una relación de transmisión alta $i \geq 60$.

Vemos que se debe entregar como consigna la posición y orientación de la esfera de acuerdo a la trayectoria que se desea realizar, posteriormente se aplicará un control PI para obtener los torques necesarios que deben ser aplicados en cada motor para realizar la trayectoria deseada.

$$\tau_{m/d} = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t) dt$$



Trayectorias de aplicación y sus esfuerzos

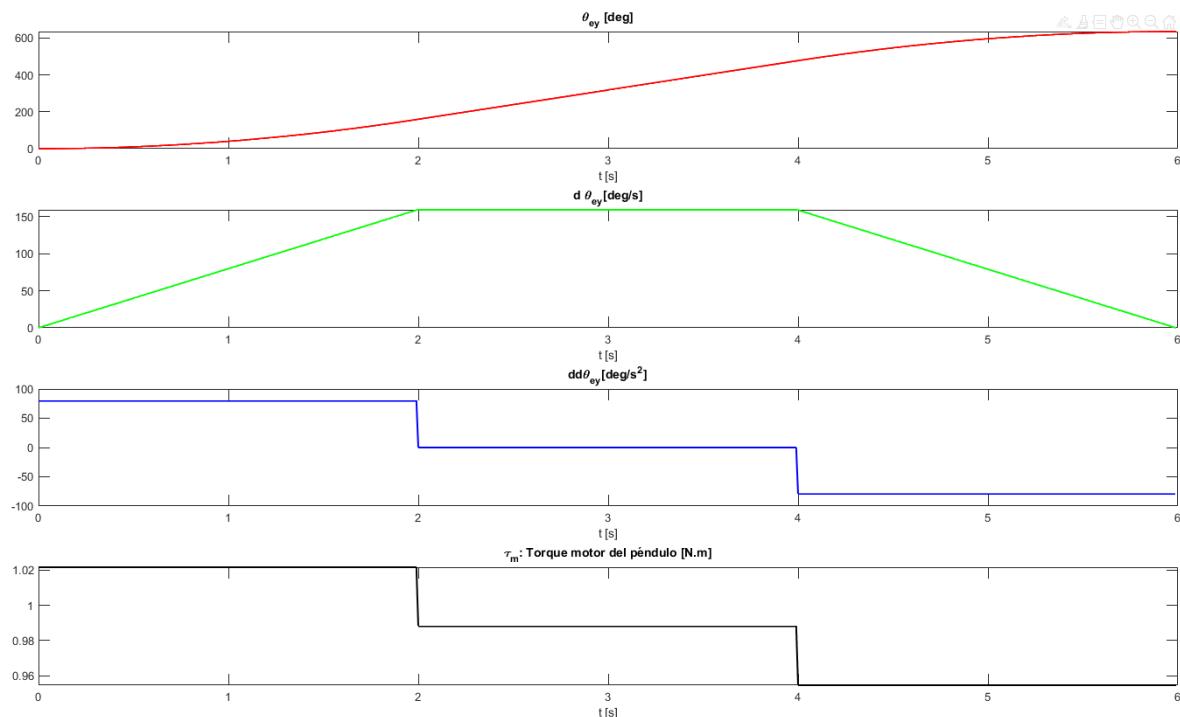
Se seleccionan dos trayectorias de marcha hacia adelante y giro en el lugar.

La primera (marcha hacia adelante) muestra una rampa de aceleración de 2 segundos hasta alcanzar la velocidad de operación de la esfera de 1km/h. Luego se muestran dos etapas más de mantenimiento de esa velocidad y de desaceleración para analizar el comportamiento del torque en las mismas.

En segundo lugar se analiza Giro en el lugar con una trayectoria de giro de 90° en 1,5 segundos, dividida también en rampa de aceleración, de velocidad constante y de desaceleración.

Marcha hacia adelante

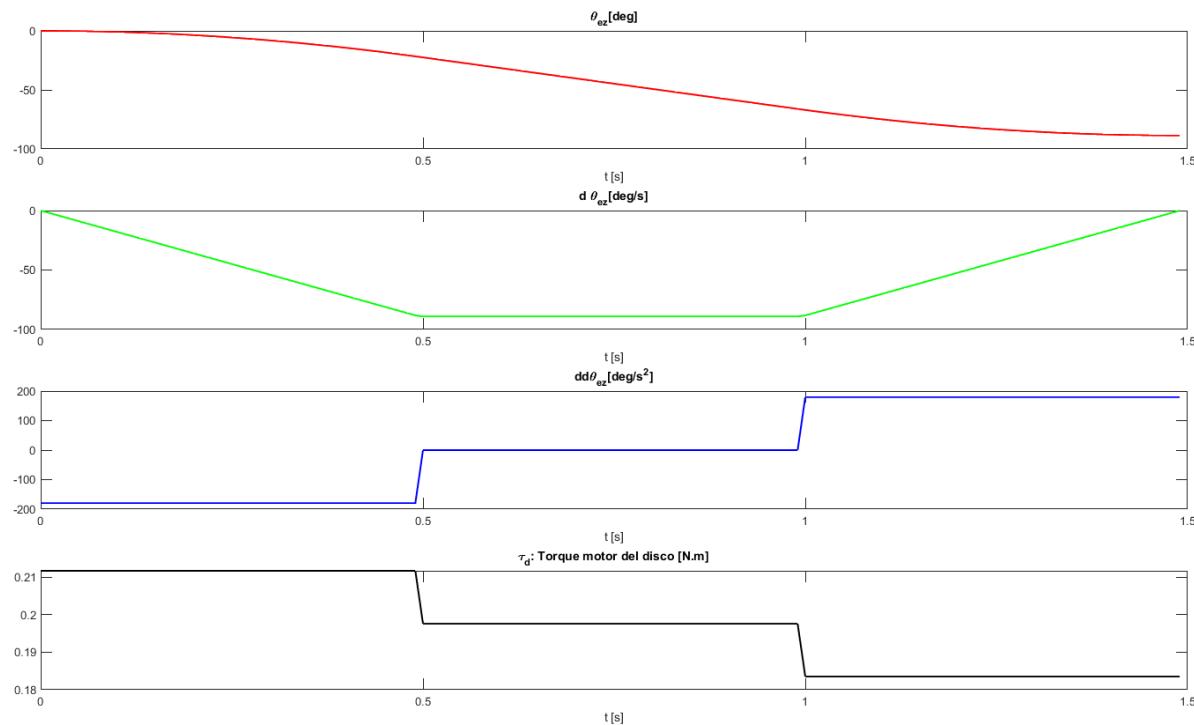
Las trayectorias articulares resultantes y los torques requeridos son:



El máximo torque pendular se utiliza durante la aceleración de la esfera y resulta en 1,0217 Nm.

Si bien podrían realizarse trayectorias menos exigentes no se reducirá significativamente el torque necesario, ya que debe ser al menos el suficiente para vencer el rozamiento estático de 0,9881 Nm en el caso de la marcha hacia adelante.

Giro de 90°



El torque motor del disco máximo necesario para un giro de 90° resulta ser 0,2118 Nm y es necesario durante el comienzo del movimiento en la etapa de aceleración.

Si bien podrían realizarse trayectorias menos exigentes no se reducirá significativamente el torque necesario, ya que debe ser al menos el suficiente para vencer el rozamiento estático de 0,1976 Nm en el caso del giro en el lugar.



Planilla de Costos

El presupuesto se divide en dos grandes partes:

- Horas dedicadas por las personas a realizar la parte intelectual del proyecto.
- Costo de Materiales.

$$C_T = C_{HH} + C_M = 282 \text{ USD} + 756,66 \text{ USD} = 1038,66 \text{ USD} = \$ 311598$$

Descripción	Horas	Precio por hora Referido a ingeniero junior	Subtotal \$	Subtotal USD
Estudio y planteo de la aplicación	8	\$ 450	\$ 3.600	\$ 12,00
Diseño general del robot	6	\$ 450	\$ 2.700	\$ 9,00
Diseño/cálculo cinemático	2	\$ 500	\$ 1.000	\$ 3,33
Diseño mecánico	18	\$ 600	\$ 10.800	\$ 36,00
Diseño/cálculo dinámico	32	\$ 600	\$ 19.200	\$ 64,00
Selección motores-reducción	5	\$ 500	\$ 2.500	\$ 8,33
Verificación e iteración de diseños	40	\$ 700	\$ 28.000	\$ 93,33
Simulación entorno de trabajo	17	\$ 600	\$ 10.200	\$ 34,00
Método de control	8	\$ 600	\$ 4.800	\$ 16,00
Evaluación de costos	4	\$ 450	\$ 1.800	\$ 6,00
Total			\$ 84.600	\$ 282,00

Materiales	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total USD	Precio Total Pesos
Motor SG-5552445000 c/Relación i=60	1	5,5 USD	5,5 USD	\$1650
Motor SG-5552445000 c/Relación i=120	1	5,2 USD	5,2 USD	\$1560



Puente H L293D	1	1,4 USD	1,4 USD	\$420
Batería Turnigy 5000mAh 6S 40C LiPo Pack w/ XT90	1	65,99 USD	65,99 USD	\$19797
Rodamiento SKF W 636	2	1,75 USD	3,5 USD	\$1050
Eje de acero	1	8 USD	8 USD	\$2400
Péndulo de acero 1045	1	185,34 USD	185,34 USD	\$55602
Disco de acero 1045	1	45,78 USD	45,78 USD	\$13734
Soporte Motor-Eje ABS	2	10 USD	20 USD	\$6000
Esfera de Acetal	1	10 USD	10 USD	\$3000
Cargador de Batería LiPo	1	98 USD	98 USD	\$29400
Encoder Rotativo	2	84,5 USD	169 USD	\$50700
Blue Pill Stm32 Modulo Stm32f103c8t6	1	10 USD	10 USD	\$3000
Mini Cámara Wifi Hd Vista Remota Recargable	1	23 USD	23 USD	\$6900
Transmisor Y Receptor Rc Flysky. Gt2b	1	76 USD	76 USD	\$22800
Módulo GPS	1	29,95 USD	29,95 USD	\$8986
Total			756,66 USD	\$226998



Mejoras a futuro

- Incorporar en el robot un sistema de radiografía industrial para mejorar las prestaciones del mismo.
- Tener acceso inalámbrico a la esfera.
- Carga de baterías por inducción electromagnética para evitar la apertura y cierre de la esfera
- Incorporar un gps para estimar mejor la posición en grandes distancias y un magnetómetro para medir su orientación.
- Hacer la esfera hermética y desarrollar mecanismo para que pueda desplazarse sobre el agua para expandir a aplicaciones de exploración submarina.
- Para aplicaciones de vigilancia podría agregarse un parlante que funcione a modo de alarma al detectar anomalías.