

# Proyecto Integrador Robótica 2

Robot Oruga Paletizador

Integrantes:

Costarelli Ignacio Agustin 10966

Manzano Claribel 11362

Zapata Ezequiel 11897

Ingeniería Mecatrónica  
2021

## ÍNDICE

1.OBJETIVOS	3
2.RESUMEN	3
3.INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	3
4.MODELO CINEMATICO	6
5.MODELO DINÁMICO	8
6.SELECCIÓN ACTUADORES Y SENSORES	9
6.1 Actuadores	9
6.2 Sensores	13
7.MODELO DE CONTROL	14
8. SIMULACIÓN	17
9.CRONOGRAMA ACTIVIDADES Y COSTOS	19
10. CONCLUSIONES	20
ANEXO	21

## 1.OBJETIVOS

Diseñar estructura y geometría robot paletizador.  
Obtención de ecuaciones cinemáticas y dinámicas.  
Dimensionamiento de actuadores y selección de sensores.  
Realización de simulación con resultados obtenidos con posterior análisis.  
Modelado de sistema de control a aplicar  
Análisis de viabilidad de proyecto.

## 2.RESUMEN

En el presente informe se describe el desarrollo de un robot tipo oruga paletizador. Se empieza determinando su geometría. Luego se dará solución en primera instancia al problema cinemático y en segunda instancia al problema dinámico; encontrando en ambos casos ecuaciones que describen su comportamiento. Con la información obtenida se dimensionan los actuadores y se determinan los sensores que son utilizados. Finalmente se realiza una simulación para sacar conclusiones y se analiza la factibilidad del proyecto en base a costos.

## 3.INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Para la cátedra de robótica 2 correspondiente a la facultad de ingeniería de la UNCuyo se plantea realizar un robot móvil capaz de realizar la tarea del movimiento de cargas. Es decir, el robot propuesto debe ser capaz de mover una carga pesada del punto A a otro punto B según se lo solicite en diferentes ambientes. Ejemplos de esta tarea son:

- movimiento de palets con mercancía en un almacén.
- carga y descarga de mercancía para su transporte (camiones o trenes).
- movimiento de materiales de construcción en obras

Debido a la diversidad de situaciones que se pueden presentar se enfoca el diseño al movimiento de cargas contenidas en palets. De esta manera una primera impresión del robot queda representada en la figura 1 donde se muestra un apilador o montacargas manual.



Figura 1

En la industria existen actualmente montacargas automáticos, los cuales varían las capacidades de carga de unos pocos kilogramos hasta toneladas, como también la altura a

la que pueden levantar la carga, en todos por lo general usan como movilidad ruedas.

Podemos encontrar como ejemplos los robots para desplazamiento de cargas de la marca Balyo, figura 2, que son usados por Amazon en sus bodegas o la marca Kivnon, figura 3.



Figura 2



Figura 3

En función de lo investigado, los primeros puntos a considerar es la estructura mecánica, en particular, el sistema de locomoción o movimiento. Debido a que se está trabajando con un robot móvil terrestre las alternativas consideradas son uso de: ruedas, patas u orugas. Lo que nos diferenciara de los otros robots industriales es el uso de orugas debido a las ventajas que este sistema aporta. Entre ellas se menciona :

- El uso de orugas utiliza un sistema mecánico menos complejo que el de las patas (se requieren solo dos actuadores para tracción) o que el uso de ruedas (no se requiere sistema de suspensión).
- El centro de gravedad del vehículo se mantiene bajo, consiguiendo una buena estabilidad y movilidad. Esto es de gran ventaja para la aplicación, es decir, el movimiento de cargas. Además este sistema genera una baja presión en el suelo, incluso ante una elevada masa.

Como consecuencia de lo mencionado se plantea el diseño del robot de tipo oruga móvil poseedor de un montacargas (representado el figura 4). El mismo consiste en una estructura rectangular para mayor resistencia y una buena distribución de los componentes que lo conforman (tarjetas electrónicas, batería, contrapeso, etc) y en la parte frontal, un sistema hidráulico que permite la acción de levantar la carga.

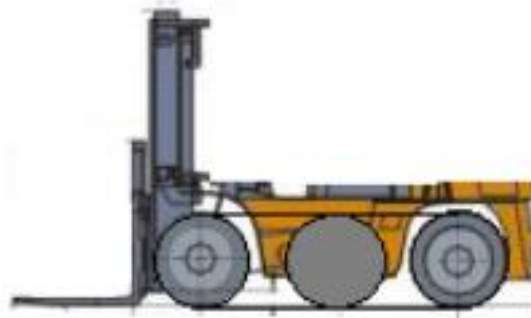


Figura 4

Basándonos tanto en los robots industriales como en los montacargas manejados por operarios diseñamos nuestro robot con las siguientes características.

	Estructura Robot	Paletas para levantamiento de carga
Largo	2400mm	1070mm
Ancho	900mm	120mm
Alto	700mm	/

El sistema de levantamiento de carga permite subir la misma hasta una altura máxima de 2000mm. A su vez la estructura de levantamiento posee un mástil con una altura de 1500mm. Velocidad de movimiento en línea recta esperada 15km/h, la aceleración máxima permitida es de  $1,2 \text{ m/s}^2$

El robot se conforma de 2 orugas cada una impulsada por un motor eléctrico independiente a su vez tendrá dos tipos de movimiento, en línea recta y rotaciones sobre su propio eje.



Figura 5

El desarrollo de este trabajo considera que el robot se desplazará en entornos totalmente conocidos con mapeado previo como es el caso de una bodega de almacenamiento y a su vez se moverá en todo momento sobre superficies planas sin considerar pendientes.

La aplicación específica de la tarea consistirá con el robot moviéndose autónomamente por la bodega recibiendo órdenes de un sistema de inteligencia artificial el cual le indicará donde tiene que ubicar una carga y cuál es su destino final. Valiéndose de múltiples sensores y señalizaciones que posee la bodega es que puede llevar a cabo esto. También teniendo en cuenta que se consideran 2 tipos de modos de funcionamiento.

- Automático: a través del uso de cámaras, visión artificial y sensores el robot se desplaza de manera autónoma entre los distintos puntos de la bodega en función de las órdenes que llegan del controlador
- Semi-Automático: Una vez que el robot se ha posicionado de forma automática para la carga o descarga de palets, entra en un modo manipulador en el cual un operario que se encuentra en una sala de control realiza de forma manual la carga o descarga controlando con un joystick la acción y valiéndose de las cámaras e indicadores del robot.

#### 4.MODELO CINEMATICO

Para el cálculo cinemático se parte de una configuración de ruedas diferencial. Se tienen 2 ruedas cada una se coloca en el eje perpendicular de la dirección del robot. Cada rueda es controlada por un motor independiente de forma que el giro del robot queda determinado por el cambio de velocidades, esto es:

- Para girar a la derecha hay que generar una mayor velocidad en la rueda de la izquierda.
- Para girar a la izquierda hay que generar una mayor velocidad en la rueda de la derecha.

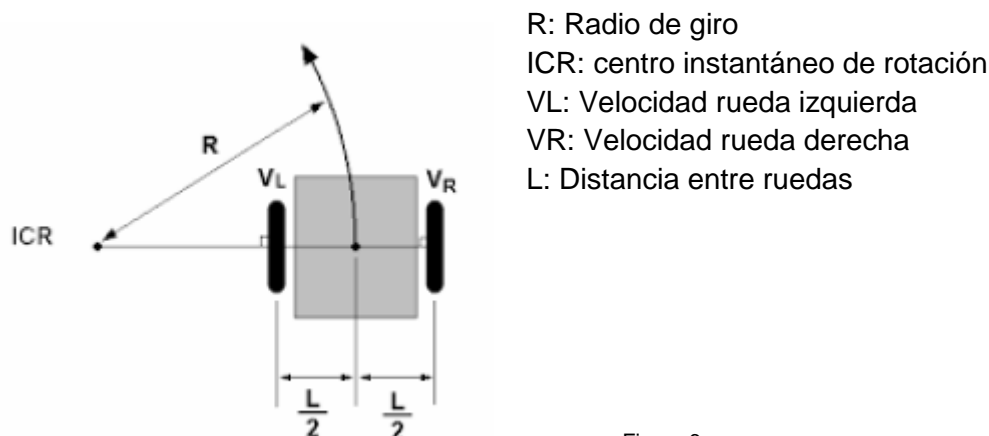


Figura 6

La relación entre las velocidades lineales y angulares de las ruedas, siendo radio ( $r = 0,35$  m) el radio de las ruedas.

$$V_L = r \omega_L \quad V_R = r \omega_R$$

La distancia recorrida por la rueda izquierda  $S_L$ , la rueda derecha  $S_R$  y el punto  $\square$  se pueden aproximar como:

$$S_L = a \theta \quad S_R = (a + L) \theta \quad S = R \theta$$

$$S_R = a \theta + L \theta = S_L + L \theta$$

$$\theta = (S_R - S_L)/L$$

0.35m de rad

Derivando estas expresiones, siendo  $V_R = \dot{S}_R$ ,  $V_L = \dot{S}_L$  y  $\dot{\theta} = \omega$

$$V_R = V_L + L \omega$$

$$\omega = (V_R - V_L)/L \quad (1)$$

Por definición

$$R = a + L/2$$

Sumando las distancias recorridas y teniendo en cuenta la relación anterior

$$S_R + S_L = 2 S_L + L \theta = 2 \theta (a + L/2) = 2 R \theta$$

Entonces

$$S = (S_R + S_L)$$

Derivando

$$v = R \omega = (V_R + V_L)/2 \quad (2)$$

Relacionando 1 y 2 podemos calcular el radio de curvatura instantáneo.

$$R = (L/2) (V_R + V_L)/(V_R - V_L) \quad (3)$$

Con estas 3 ecuaciones se puede experimentar para llegar a varias conclusiones. Como el fin de este robot es mover cargas por un almacén, se supone que este edificio está distribuido para optimizar espacio. Por lo tanto, se requiere para la aplicación hacer un giro sobre su propio eje. Para ello,  $V_L = -V_R$ , entonces  $R=0$ , es decir que el CIR se encuentra en el centro del robot y por lo tanto, gira alrededor de su propio centro.

Luego para obtener la posición del punto de referencia del robot  $(x_c, y_c)$ :

$$x_{CIR} = x_c - R \sin \theta \rightarrow x_c = x_{CIR} + R \sin \theta$$

$$y_{CIR} = y_c - R \cos \theta \rightarrow y_c = y_{CIR} + R \cos \theta$$

Derivando se obtiene:

$$\dot{x}_c = R \dot{\theta} \cos \theta = R \omega \cos \theta = v \cos \theta$$

$$\dot{y}_c = R \dot{\theta} \sin \theta = R \omega \sin \theta = v \sin \theta$$

No conocemos  $v$  y  $\omega$ , pero podemos usar las ecuaciones 1 y 2 para obtenerlas. De esta manera se obtienen las siguientes ecuaciones cinemáticas:

$$\dot{x} = \cos \theta (V_R + V_L)/2$$

$$\dot{y} = \sin \theta (V_R + V_L)/2$$

$$\dot{\theta} = (V_R - V_L)/L$$

Variables	Valor
Radio de las ruedas (r)	0.35 m
Distancia entre los centros de las ruedas L	1 m
Velocidad robot	15 km/h = 4 m/seg <sup>2</sup>
Aceleración del robot	1.2 m/seg <sup>2</sup>

## 5.MODELO DINÁMICO

Para determinar el modelo dinámico del robot oruga se recurre al método Newton-Lagrange. Este método de balance de energía permite una resolución de este problema de una manera más simple. Para aplicarlo se debe definir primero el Lagrangiano del sistema.

El lagrangiano por definición es la resta entre la energía cinética y potencial del sistema. Consideraremos para la aplicación que solo hay existencia de energía cinética, es decir, la energía potencial es nula. Por lo tanto el lagrangiano es igual a la energía cinética.

Para la obtención de la energía cinética se define la siguiente ecuación:

$$K = \frac{1}{2} \left( M_t (V_{CMx}^2 + V_{CMy}^2) + I_t \omega^2 + \sum_{i=1}^N I_{ri} \dot{\varphi}^2 \right)$$

En esta ecuación se aprecia:

- Primer término y segundo término: la energía cinética del chasis.
- Tercer término: aporte de energía cinética de rotación de las ruedas. Se tiene en cuenta el uso de las ruedas comunes.

Se prosigue a expresar la fórmula anterior en función de nuestras coordenadas articulares y sus derivadas. Para ello se hace uso del modelo cinemático mostrado anteriormente.

Teniendo en cuenta que:

$$(V_{CMx}^2 + V_{CMy}^2) = \left( \cos(\theta) \left( \frac{v_r + v_i}{2} \right) \right)^2 + \left( \sin(\theta) \left( \frac{v_r + v_i}{2} \right) \right)^2 = \left( \frac{v_r + v_i}{2} \right)^2$$

$$\omega = r \frac{(\dot{\theta}_L - \dot{\theta}_r)}{L}$$

Reemplazando y desarrollando se obtiene

$$K = \frac{1}{2} M_T r^2 \frac{(\dot{\theta}_L + \dot{\theta}_r)^2}{4} + \frac{1}{2} I_T r^2 \frac{(\dot{\theta}_L - \dot{\theta}_r)^2}{L^2} + \frac{1}{4} m_L r_L^2 \dot{\theta}_L^2 + \frac{1}{4} m_r r_r^2 \dot{\theta}_r^2$$

Derivadas respecto a las derivadas de las coordenadas articulares ( $\dot{\theta}_r, \dot{\theta}_L$ ):



$$\frac{\partial K}{\partial \dot{\theta}_r} = \frac{r^2(4 I_r \dot{\theta}_r - 4 I_L \dot{\theta}_L + L^2 M_T \dot{\theta}_r + L^2 M_T \dot{\theta}_L + 2 L^2 \dot{\theta}_r)}{4 L^2}$$

$$\frac{\partial K}{\partial \dot{\theta}_L} = \frac{r^2(4 I_r \dot{\theta}_L - 4 I_r \dot{\theta}_r + L^2 M_T \dot{\theta}_r + L^2 M_T \dot{\theta}_L + 2 L^2 \dot{\theta}_L)}{4 L^2}$$

Derivadas con respecto al tiempo de las ecuaciones anteriores :

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial K}{\partial \dot{\theta}_r} \right) = \frac{r^2(4 I_r \ddot{\theta}_r - 4 I_r \ddot{\theta}_L + L^2 M_T \ddot{\theta}_r + L^2 M_T \ddot{\theta}_L + 2 L^2 \ddot{\theta}_r)}{4 L^2}$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial K}{\partial \dot{\theta}_L} \right) = \frac{r^2(4 I_r \ddot{\theta}_L - 4 I_r \ddot{\theta}_r + L^2 M_T \ddot{\theta}_r + L^2 M_T \ddot{\theta}_L + 2 L^2 \ddot{\theta}_L)}{4 L^2}$$

Estas últimas ecuaciones igualadas a un torque externo son las ecuaciones dinámicas que describen el sistema robot oruga. De esta manera el modelo dinámico puede expresarse en forma matricial como:

$$r^2 \left[ \frac{4}{L^2} I_r + \frac{M_T}{4} + \frac{1}{2} \frac{M_T}{4} - \frac{I_r}{L^2} \frac{M_T}{4} - \frac{I_r}{L^2} \frac{4}{L^2} I_r + \frac{M_T}{4} + \frac{1}{2} \right] [\ddot{\theta}_r \ddot{\theta}_L] = [\tau_r \tau_L]$$

## 6. SELECCIÓN ACTUADORES Y SENSORES

En esta sección se seleccionarán los elementos necesarios para el funcionamiento correcto del robot.

### 6.1 Actuadores

Para la selección de actuadores es necesario determinar el torque máximo que se requerirá en la realización de las trayectorias del robot según su aplicación. Este torque es proporcionado por las ecuaciones del modelo dinámico desarrollado teniendo un valor de 300 Nm. Sin embargo es necesario contemplar 2 efectos que incrementan a este torque máximo:

- Torque generado por los efectos de fricción.
- Torque generado por un peralte en la trayectoria (esta inclinación debe ser mínima ya que se presupone un suelo liso de almacén).

Para determinar el torque generado por estos efectos se tomó un porcentaje del torque máximo resultado de las ecuaciones dinámicas del robot. De esta manera:

- Torque fricción aporta un 30% más al torque anterior. Este torque tiene un valor de 90 Nm.
- Torque por variación de energía potencial aporta un 5% más al torque anterior. Este torque tiene un valor de 15 Nm.

Tomando en cuenta los efectos se obtiene un nuevo sistema. En forma matricial:

$$r^2 \left[ \frac{4}{L^2} I_r + \frac{M_T}{4} + \frac{1}{2} \frac{M_T}{4} - \frac{I_r}{L^2} \frac{M_T}{4} - \frac{I_r}{L^2} \frac{4}{L^2} I_r + \frac{M_T}{4} + \frac{1}{2} \right] [\ddot{\theta}_r \ddot{\theta}_L] + [\tau_{fr} \tau_{fL}] + [\tau_{pr} \tau_{pL}] = [\tau_r \tau_L]$$

Para realizar la trayectoria característica de la figura 7 se deben implementar los perfiles de velocidad y aceleración de las figuras 8 y 9 respectivamente. Si esto se lleva a cabo se obtiene el torque necesario representado en la figura 10.

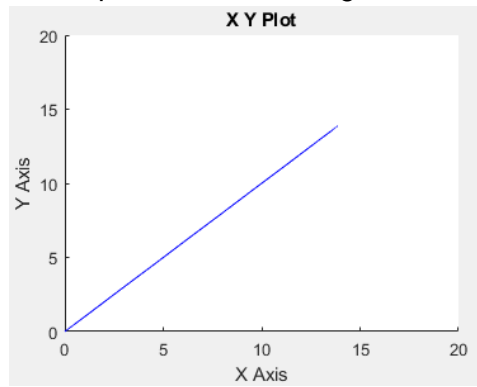


Figura 7

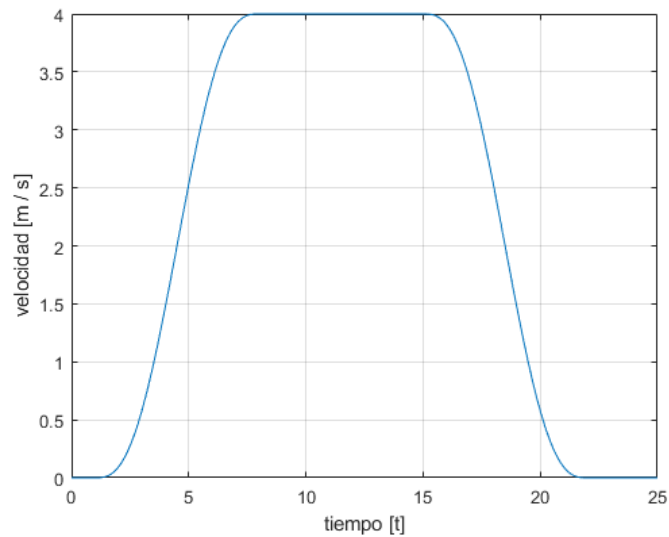


Figura 8

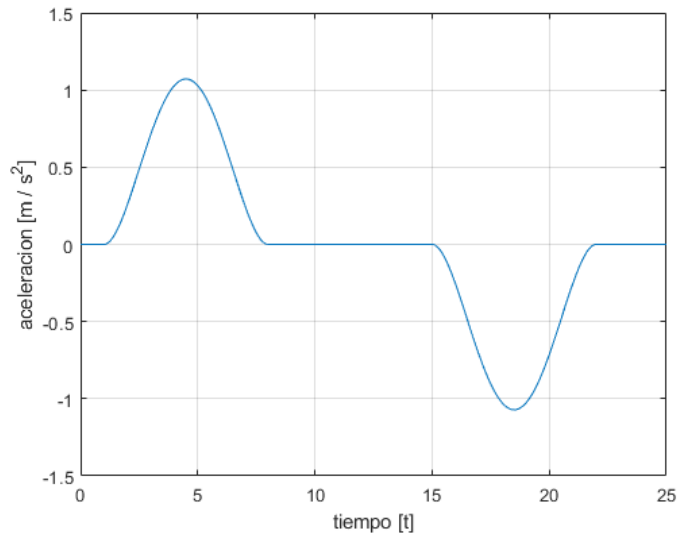


Figura 9

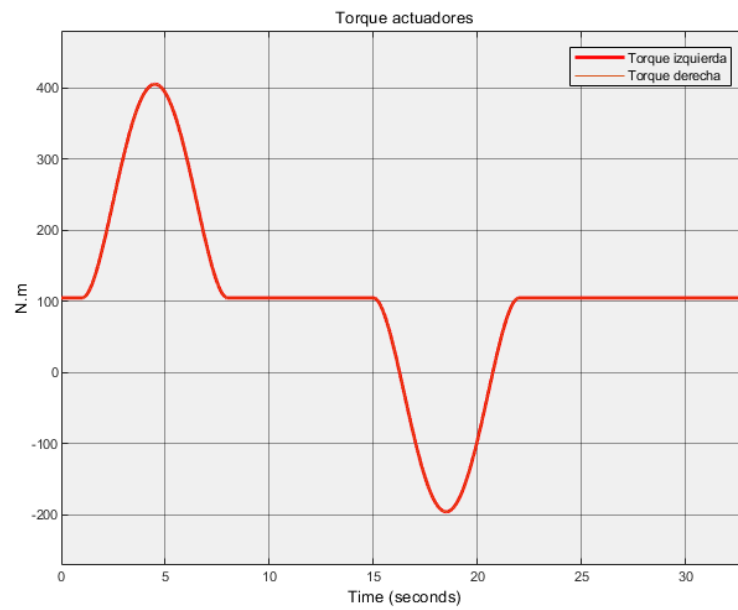


Figura 10

De esta manera el torque que se contempla para la selección del actuador es 405 Nm.

Se impone una velocidad de diseño lineal de 4 m/seg. Esta velocidad implica un desplazamiento de las ruedas de 11.5 rad/seg. Basado en esto se prosigue a la selección de actuadores tomando una velocidad nominal de 2000 rpm.

$$i = N_s/N_e = \frac{11.5 \text{ rad/seg}}{2000 \text{ rpm} \frac{2\pi}{60}} = 0.05$$

Teniendo en cuenta la relación:

$$T_e/T_s = N_s/N_e$$

Entonces:

$$T_s = T_e \frac{N_e}{N_s}$$

El torque de salida debe ser mayor que los 405 Nm requeridos. Para ello se opta por el servomotor industrial de la marca ESTUN “EMG-10 A D A 1 1”. A continuación se presentan las características.

Rated Speed	r/min	2000									
Max. Speed	r/min	3000									
Rated Torque	N·m	4.78	4.78	7.16	7.16	9.55	9.55	14.3	14.3	23.9	23.9
Instantaneous Peak Torque	N·m	14.3	14.3	21.5	21.5	28.7	28.7	43.0	43.0	71.6	71.6

Como se observa en las figuras anteriores la velocidad nominal es de 2000 rpm según lo preestablecido, con un máximo de 3000 rpm de ser necesario. Además el motor cuenta con un torque nominal de 23.9 Nm, con un valor pico de 71.6 Nm. Estos valores picos se consideran satisfactorios por si requieren ocasionalmente en algún punto de la trayectoria deseada.

Finalmente se selecciona una caja reductora con un  $i=1/0.05$  para poder cumplir con lo preestablecido. Se selecciona la carga reductora planetaria de la SPITKOOM “PH322F0200”, figura 11. Las características se presentan a continuación.

PH322F0200	20	4500	8000	≤9	0,107	1,8	4	10	61	45	65	130
------------	----	------	------	----	-------	-----	---	----	----	----	----	-----



Figura 11

Aclaración: Torque de entrada máximo de la caja seleccionada 65 Nm.

Para verificar los resultados obtenidos se requiere que el torque de salida de la caja reductora sea mayor a los 405 Nm necesarios. Se realiza la siguiente cuenta:

$$T_{salida} = \frac{23.9 \text{ Nm } 2000 \text{ rpm } \frac{2\pi}{60}}{11.5 \text{ rad/seg}} = 435 \text{ Nm}$$

El conjunto actuador caja reductora seleccionado verifica.

## 6.2 Sensores

Para poder guiarse, el robot utilizará una Cámara con Visión Artificial: a2A1920-160ucPRO - Basler ace 2, diseñada para captar a color con 160 fps, se va a equipar con un objetivo Basler Lens C125-0418-5M-P f4mm - Lens, gran angular que capta 180°. Este dispositivo está equipado con un software de visión artificial con el cual el robot podrá identificar números de pasillos y de estantería donde colocará la carga.



Figura 12



Figura 13

También se necesitarán cuatro sensores de ultrasonido para detectar posibles obstáculos y para medir distancias importantes. Se utilizarán sensores ultrasónicos con salida digital BUS003Z de la marca Balluff con alcance de 600 a 8000mm.



Figura 14

Para poder medir las inclinaciones se hará uso del Módulo de sensor de acelerómetro de tres ejes ADXL355 que se utilizará como Giroscopio para corregir el ángulo de avance.

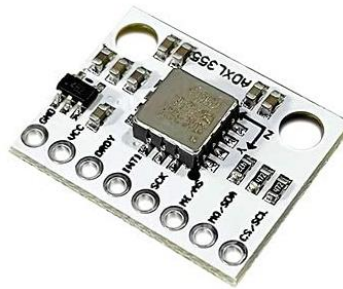


Figura 15

Se va a necesitar un dispositivo GPS para la localización del robot esto se hará con un Módulo GNSS de Precisión CubePilot Here 3 a su vez se utilizara como comparación para medir los desplazamientos un encoder óptico soundwell electronic EG56



Figura 16



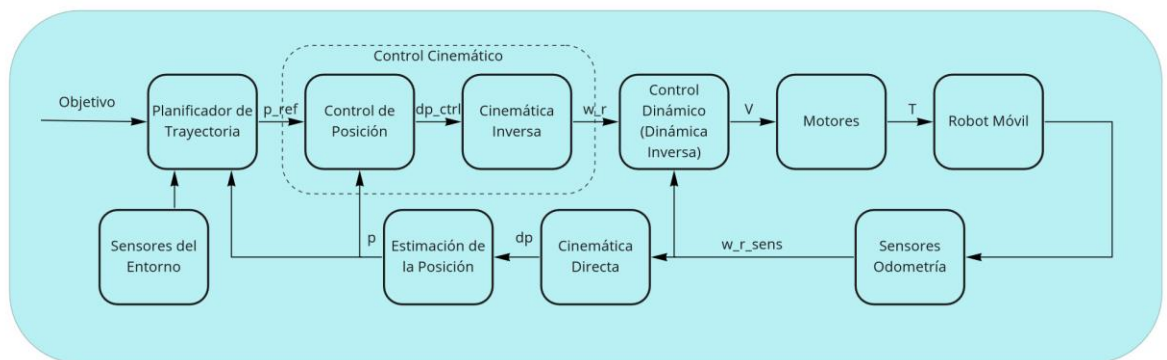
Figura 17

## 7.MODELO DE CONTROL

El objetivo del robot será ir de una posición inicial a una final. Para poder generar la trayectoria y cumplir con esto, se hará uso de los diferentes *sensores externos*, entre ellos, una cámara gran angular equipada con visión artificial que reconoce el número correspondiente del pasillo y también el número de estante de donde se tomará la carga o donde se la dejará. Se podrán detectar posibles obstáculos, como por ejemplo humanos, con la ayuda de los sensores de ultrasonido y también se corregirá la distancia entre el robot y las estanterías, para que esté centrado en todo momento. Además, contará con GPS, para corregir cualquier error que puedan cometer los encoders. Con esto y los datos provenientes de la realimentación, el *planificador de trayectorias* será capaz de generar, con un método de optimización, la trayectoria más conveniente.

Luego, se realiza el *control cinemático*, con una primera parte de *control de posición*, que toma como referencia la trayectoria creada en coordenadas de posición y realiza el

control con los datos de la realimentación, obteniendo un vector de velocidad. En un segundo paso, se utiliza la *cinemática inversa*, para obtener las coordenadas generalizadas, es decir, un vector con las velocidades de las ruedas. Una vez obtenido esto, se utilizará como referencia para el *control dinámico*. Se realimentará con los *sensores de odometría*, entre ellos, un giróscopo para corregir el ángulo de avance, y un encoder en cada rueda, lo que dará las velocidades de las ruedas sensorizadas. Este *control dinámico* proporcionará la tensión a aplicar en cada *motor* y a su vez, ellos aplicarán el torque correspondiente para hacer mover el *robot móvil*. Finalmente, los *sensores de odometría* captarán este movimiento para realimentarlo en el control dinámico como ya se explicó anteriormente y también, se hará uso de las ecuaciones de la *cinemática directa* y de un *estimador de posición* para así poder obtener el vector  $p$  y realimentarlo al *control de posición* y al *planificador de trayectorias*.



miro

Figura 18

En la figura 19 podemos observar el método realizado en simulink.

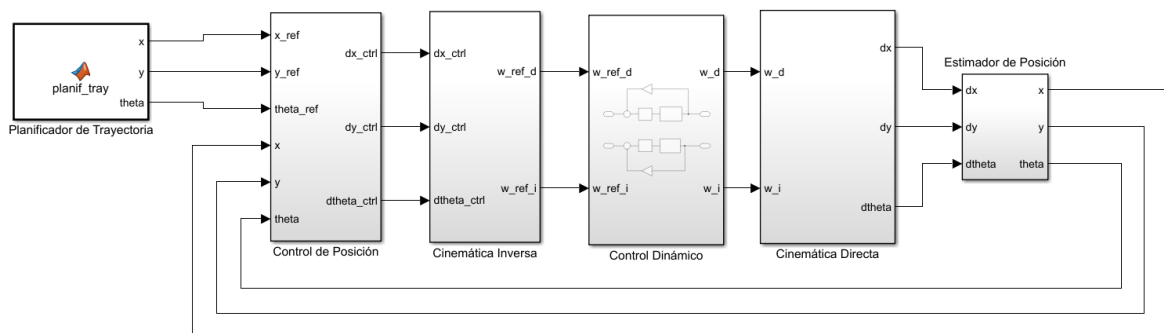


Figura 19

Dentro del bloque de control dinámico se encuentran también la parte de motores y robot móvil. Se ha realizado primeramente un control monoarticular PID, con realimentación de los encoders ubicados a la salida del actuador.

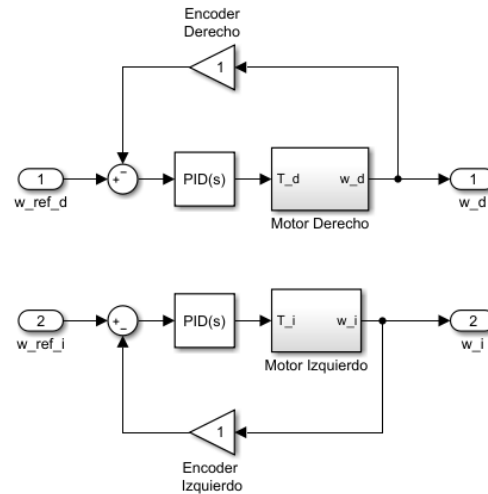


Figura 20

A este control se le puede agregar mejoras, como por ejemplo un control basado en redes neuronales, entrenadas con diferentes valores de las constantes del PID anteriormente utilizado. El entorno de simulink nos brinda una herramienta que es capaz de generar una red neuronal de varias capas ocultas pero para poder utilizarlo se necesita una tabla de datos de todas las constantes para las diferentes situaciones, provenientes de simulaciones o de experimentación real.

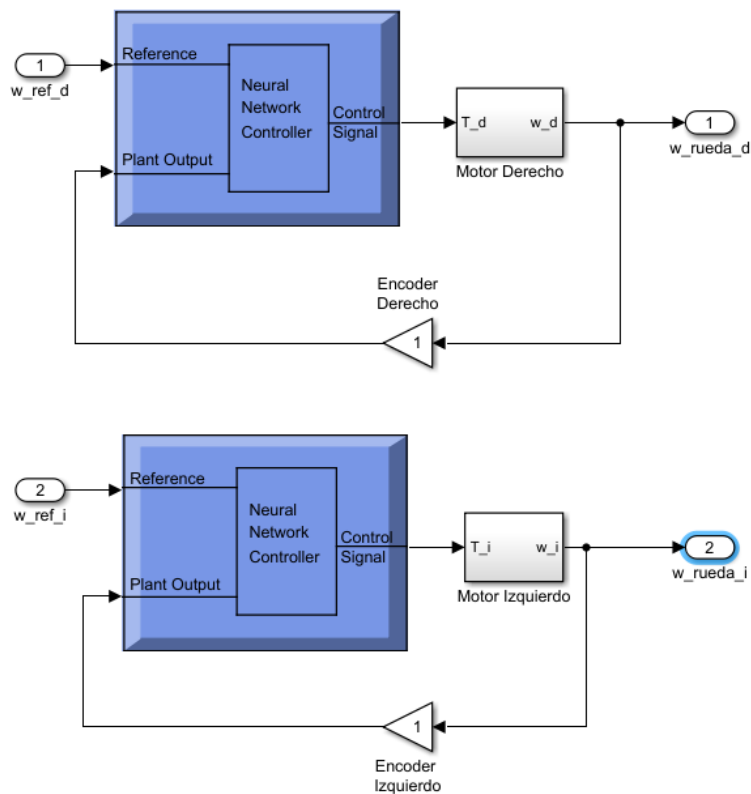


Figura 21



Por otro lado, como se ha explicado, el autoelevador será automático durante todo el recorrido, excepto al final, al momento de elevar la carga y posicionarla en su lugar correspondiente. Al estar en automático, él podrá realizar los pasos ya explicados: planificar la trayectoria, realizar el recorrido y llegar a su destino, teniendo en cuenta las lecturas de los sensores para evitar obstáculos y demás. Cuando su posición actual sea igual a la final deseada, a medio metro de la estantería y con velocidad nula, pasa a estar en modo manual. Ahora el operario puede manipular los diferentes controles, habrá una palanca para hacer que el robot avance o retroceda y un botón (*UP\_button*) para habilitar la acción de ascender o descender la carga, para evitar que ambas acciones se realicen al mismo tiempo. El robot dejará de moverse cuando los sensores de proximidad detecten algo a menos de 0,5m a su alrededor y en modo manual cuando el del frente detecte los 0,1m. También se detendrá el ascenso o descenso cuando los finales de carrera se activen. El robot continuará con su tarea cuando el operario presione el botón *continue\_button*.

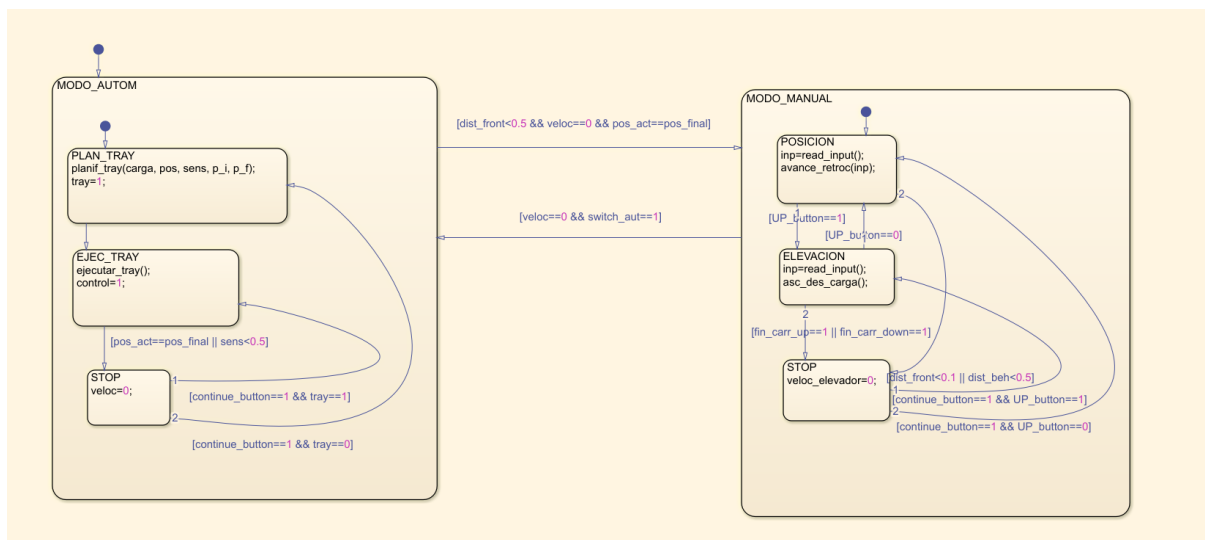


Figura 22

## 8. SIMULACIÓN

Para la simulación de nuestro robot se optó por hacer uso del software de Webots, el cual es un software libre utilizado de forma profesional para la industria, educación e investigaciones. Este software cuenta con una base de modelos pre cargados, así también con sensores y actuadores utilizados comúnmente en la robótica.

Para modelar nuestro robot se hizo uso de un robot móvil con orugas precargado al cual se le modificaron las dimensiones para que se adaptara a nuestra aplicación.

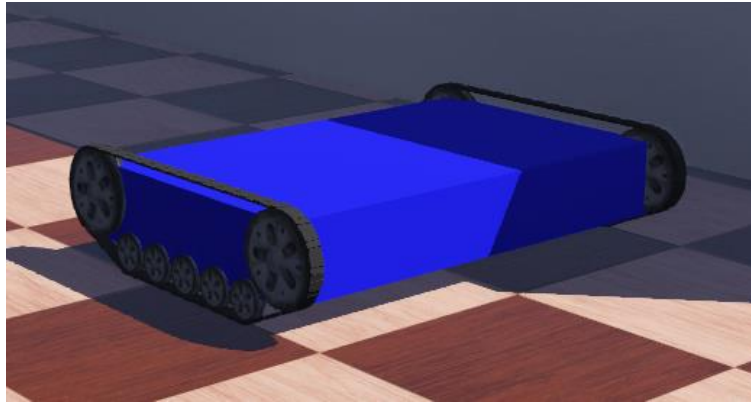


Figura 23

El entorno de Webots trabaja con nodos como se observa en la figura 24. Esto permite asociar al robot distintas propiedades físicas como también incorporar distintos componentes de la parte actuadores o sensores. A su vez se crean distintos nodos los cuales en conjunto forman el entorno de trabajo del robot.

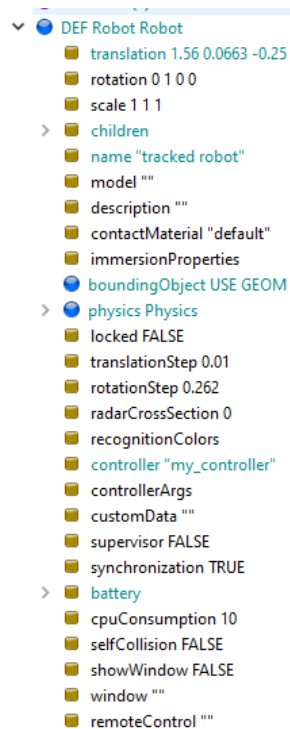


Figura 24

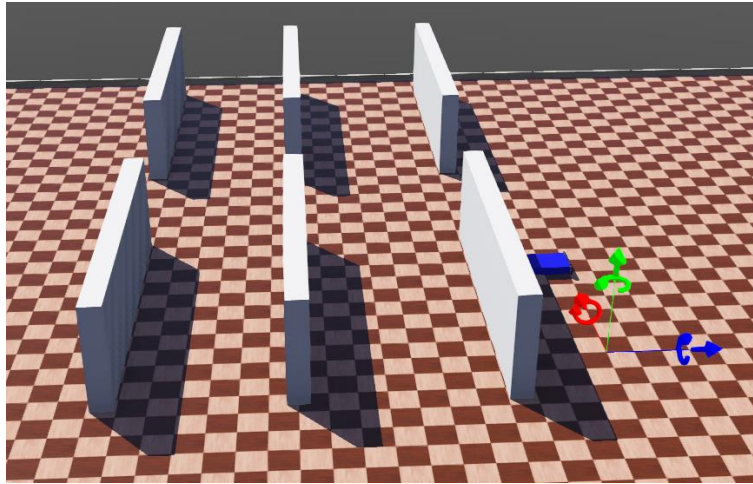


Figura 25

Con el robot y el entorno diseñados se procede a programar la trayectoria de la simulación. El software permite usar códigos en distintos lenguajes de programación como Python, C, C++, Java, Matlab o ROS. En nuestro caso se hizo uso de python, el código que se realiza es cargado dentro del controlador del modelo, se hace un control de los actuadores en este caso los motores izquierdo y derecho de las orugas, se planifica una tarea a realizar por el robot y en función a esto es que se programan las consignas de movimiento.

Gracias a esta simulación se pudo identificar problemáticas respecto a las velocidades de giro del robot y cómo interactúan las orugas respecto a la fricción con el suelo. Una vez arreglados estos problemas se llevó adelante satisfactoriamente la simulación completa como se puede observar en el video adjunto.

## 9. CRONOGRAMA ACTIVIDADES Y COSTOS

	Tiempo en semanas											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Investigación	X	x										
Modelo cinemático			X	x								
Modelo dinámico				X	X							
Actuadores y sensores						X	X					
Modelo de control								X	x			
Simulación										X	X	

Descripción	Recursos	Servicio	Horas	Insumos
Investigación	Computadora	Internet	8	
Modelo cinemático	Computadora Conocimiento académico	Internet	9	
Modelo dinámico	Computadora Conocimiento académico	Internet	12	Estructura mecánica.
Actuadores y sensores		Fletes Envío	8	Motor x2 Cámara, sensores de ultrasonido x4, encoders x2, GPS y acelerómetro. Microcontrolador.
Modelo de control	Computadora, Matlab	Internet	16	Consola control
Simulación	WeBots	Internet	12	
TOTAL	500	300	975	14363

Elemento	Cantidad	Costo unitario (dolares)	Total
Servo motor industrial ESTUN "EMG-10 A D A 1 1"	2	3800	7600
Caja reductora SPITKOOM "PH322F0200"	2	1100	2200
Camara Basler ace 2	1	460	460
Lente basler C125-0418-5M-P f4mm	1	165	165
Sensor ultrasonido balluff BUS003Z	4	350	1400
Acelerometro ADXL355	1	45	45
GPS CubePilot Here 3	1	153	153
Encoder soundwell electronic EG65	2	120	240
Estructura mecanica	1	1500	1500
Consola de control	1	600	600
			<b>14363</b>

## 10. CONCLUSION

Se lograron satisfacer cada uno de los objetivos planteados. Estos se consideran satisfactorios siendo el primer prototipo de un robot que da solución a una tarea compleja como es el apilamiento de cargas. Mediante la obtención de ecuaciones y la simulación de tareas se obtuvo información que nos dio aproximaciones del comportamiento en la realidad. Debido a esto se plantean futuras posibles correcciones. Finalmente se determinó que el costo está dentro de los aceptados por el mercado.

## ANEXO

Antonio Barrientos - Fundamentos de la robótica - 1997

Catalogo Motores y caja reductoras

[https://www.caipe.com.ar/docs/datasheets/series\\_emj\\_emg\\_eml.pdf](https://www.caipe.com.ar/docs/datasheets/series_emj_emg_eml.pdf)

<http://www.mecapedia.uji.es/catalogos/engranaje/spitkoom.2.pdf>

Catálogos Sensores

<https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/area-scan-cameras/ace2/a2a1920-160ucpro/>

<https://www.baslerweb.com/en/products/vision-components/lenses/basler-lens-c125-0418-5m-p-f4mm/>

<https://www.balluff.com/es-ar/products/PV123353>

<https://www.amazon.com/-/es/ADXL355-aceler%C3%B3metro-digital-industrial-consumo/dp/B09CCWBVM1#descriptionAndDetails>

<https://www.robotshop.com/es/es/modulo-gnss-precision-cubepilot-here-3.html>

<http://www.soundwell.hk/ec56-optical-encoder-16081032909388434.html>