

Universidad Nacional Del Comahue Facultad De  
Ingeniería Departamento De Electrotécnia



Proyecto integrador profesional

---

Desarrollo e implementación del sistema de control  
de bajo nivel de un robot 4WD para ambientes  
frutícolas

## Indice

## Resumen

En este trabajo se describe el desarrollo e implementacion de un sistema de control de movimiento, a nivel de hardware y software, de un robot 4WD (4 Wheel Drive).

Se identifican los 4 sistemas, cada uno conformado por un motor con su engranaje y la rueda en conjunto.

Se plantea el modelo matematico y posteriormente se definen los parametros fisicos mediante ensayos.

Luego se implementa un sistema de control de velocidad para cada rueda, y se verifica el funcionamiento de estos, ensayandolos en distintas cargas.

Todo el sistma sera comandado por un protocolo de comunicacion y finalmente se realizan ensayos con el sistema integrado a modo de validacion de hardware y software.



## Objetivos

El objetivo de este trabajo es el diseño, desarrollo e implementación del sistema de control de movimiento para un robot 4WD (Four-Wheel Drive) capaz de recibir valores de referencia de velocidad deseados (o setpoints) para cada rueda por un protocolo de comunicación y establecerlos.

Objetivos específicos:

- Caracterizar y modelar los cuatro sistemas (uno por cada rueda), compuesto por: motor, engranaje, rueda y encoder óptico.
- Diseñar y sintonizar un lazo de control de velocidad para cada rueda del robot de manera independiente.
- Utilizar un sistema operativo de tiempo real (RTOS) para la implementación de los cuatro lazos de control en un microcontrolador de la familia STM32.
- Establecer la estructura de los paquetes de datos y el protocolo de comunicación entre un dispositivo externo (maestro), que enviará los setpoints, y el sistema a diseñar (esclavo) que recibirá las órdenes. La comunicación será a través de una interfaz serie UART.
- Realizar el control de versiones, y escribir la documentación, del código fuente del software desarrollado durante el proyecto.
- Diseñar e implementar una placa (PCB) que integre todo el hardware utilizado para el funcionamiento del sistema de control.
- Integrar todos los componentes anteriores sobre la plataforma móvil. El sistema resultante compuesto por: baterías, motores, encoders, sistema embebido e interfaz de comunicación es el sistema de control resultante. Realizar pruebas funcionales de todo el sistema.
- Verificar, mediante pruebas con diferentes cargas, la respuesta del control de lazo cerrado de cada rueda.
- Estimar el consumo energético del conjunto, evaluar e implementar las estrategias que correspondan para el uso de baterías de gel sobre el robot.
- Realizar pruebas en campo del sistema integrado con trayectorias predefinidas (líneas rectas y giros).

## Decisiones

### ■ Evaluacion de implementar encoders en cuadratura:

Beneficios: implementar encoders de cuadratura nos brinda una resolucion en la medicion de velocidad.

Requisitos para implementarlo: se debe conseguir encoders en cuadratura, tras una breve investigacion, se nota que solo se consiguen encoders de este tipo con funcionamiento coaxial al eje de rotacion. Esto ultimo mencionado trae multiples desafios. El primero es la ubicacion de los encoders en el robot, una posibilidad analizada es acoplarlo con el eje paralelo y un arreglo de poleas y correas. El segundo es que para poder procesar 4 señales en cuadratura debemos cambiar el hardware principal por otro que tenga 4 modulos de cuadratura.

Dicho esto, combinando las problemáticas mecánicas asociadas en alineación y complejidad estructural para implementar estos cambios, en complemento con que se debe hacer una completa reestructuración de hardware, incluyendo el PCB y software; se suma a que el precio estimado de implementación ronda los 25 a 30 mil pesos al día 12/12/2021. Por esto se decide continuar con el encoder incremental que se posee actualmente. Para no quedarnos sin mejoras se decide a diseñar e implementar un disco de encoder con una mayor cantidad de ranuras para así aumentar la resolución de medición.

Falta agregar las tolerancias mecánicas de construcción.

### ■ Evaluacion de reemplazo de bujes:

Al momento de recibir el vehículo, se nota que existe un amplio periodo de rotación del eje del motor previo a que se mueva la rueda, partiendo de un estado estacionario a un estado en movimiento.

Al desarmarlo, se identifica que el diámetro interno de los bujes y el diámetro externo del eje difieren en el orden del milímetro, esto sumado a que el tornillo pasante que sujeta tanto el eje con los bujes como el eje con la rueda, difieren de igual manera entre el diámetro del agujero del eje y el diámetro externo al tornillo.

Al sumar el aporte de los 3 efectos en serie, se tiene un amplio "juego" en la rotación de la rueda.

Para intentar minimizarlo, se evaluó comprar ejes y tornillos pasantes que solucionen el problema encontrado. Luego de múltiples búsquedas y debido a que las medidas buscadas no son tamaños estándar, no se consigue un repuesto que se pueda comprar y resolver directamente el problema encontrado.

Posteriormente se evalúa la fabricación de los bujes necesarios, con un costo de 2000 pesos en materiales al mes de noviembre de 2021 y acceso a maquinaria pesada como torno y fresa, se decide implementar el cambio.

El arreglo consistiría en fabricar nuevamente tanto bujes como ejes del vehículo y realizar fijaciones con chavetas debido a las medidas no estándar que se poseen en las perforaciones del eje del motor.

### ■ Metodo de identificacion del sistema:

Inicialmente se procede a obtener el modelo matemático guiados por el estado del arte y papers de referencia. Inicialmente se opta por identificar el sistema, enviando una señal cuadrada de ciclo pseudoaleatorio con la herramienta MATLAB y devolverle al programa con el microcontrolador las mediciones de velocidad correspondientes. Luego de esto, con este set de datos se busca estimar los parámetros del sistema (ya que conocemos como es la forma, variables y cantidad de polos y ceros) con herramientas propias de matlab.

Se busca posteriormente pasar el sistema en variables de estado y controlarlo de esta manera. Debido a que sabíamos el orden de algunos de los parámetros del sistema por que los podíamos medir, observamos que la convergencia del algoritmo de matlab, nos daba un set de parámetros válido, pero varios órdenes de magnitud mayores o menores a los valores que esperábamos. Por esto último, y por el gran esfuerzo mecánico que le generaba la señal cuadrada pseudoaleatoria al sistema se optó por realizar los ensayos de los parámetros de manera manual sin ayuda de matlab.

## Ensayos

- Medicion de  $R_a$ :  $R_a$  [Ohm] es la resistencia ohmica del estator del motor. Para medirla se utiliza un multmetro [Uni-t UT890D+] y se mide directamente en bornes del motor multiples veces y luego se realiza un promedio de las mediciones.
- Ensayo para obtener  $L_a$ :  $L_a$  [Hy] representa inductancia del devanado estatorico del motor. Para la medicion de este parametro, primero se bloquea el rotor del motor para que no se genere una contra FEM, luego se coloca una resistencia conocida en serie con el motor y final mente se aplica un escalon de tension en bornes del motor. Se conecta un osciloscopio en bornes de la resistencia y se captura el transitorio del escalon, al conocer la resistencia y tener una imagen transitoria de la señal, se puede calcular la constante de tiempo del sistema, y con esta la inductancia  $L_a$ .
- Ensayo para obtener  $K_f$ :
- Ensayo para obtener  $K_t$ :
- Ensayo para obtener  $\tau_m$ :  $\tau_m$  representa la constante de tiempo mecanica del sistema.
- Ensayo para obtener  $T_f$ :  $T_f$  representa el torque de friccion del sistema.
- Ensayo para obtener  $I_{arr}$ :  $I_{arr}$  representa la corriente de arranque del motor.
- Ensayo para obtener  $B$ :
- Ensayo para obtener  $J$ :  $J$  representa el momento de inercia.