

# Fase Final: Sistema antiderrape para silla de ruedas\*

Gerson Alexander Cux García, 201700635,<sup>1, \*\*</sup> Daniel Estuardo Blanco Girón, 201632135,<sup>1, \*\*\*</sup> Héctor Fernando Carrera Soto, 201700923,<sup>1, \*\*\*\*</sup> and Nestor Eduardo de León Aguilón, 201906466<sup>1, \*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Escuela de ingeniería mecánica eléctrica,  
Universidad de San Carlos, Edificio T1, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala.

Las personas que utilizan silla de ruedas tienden a sufrir posibles perturbaciones que las hagan derrapar. Para solucionarlo, se procedió a diseñar un modelo de una silla de ruedas en el cual es posible controlar la velocidad de las ruedas en caso de que se detecte una diferencia brusca entre las velocidades de las dos ruedas y así evitar derrapes, además de poder detener la silla en caso de que el usuario este a punto de sufrir una colisión. Para ello se procedió a armar una maqueta a escala, en la que se colocaron sensores y motores para poder detectar objetos, y así poder disminuir la velocidad para evitar que el usuario colisione, en la sección de Avances Actuales puede observarse dicha maqueta. Dado que esta es una Fase previa a la entrega final del proyecto los estudiantes de este curso se encuentran en el proceso de control de igualar la velocidad de las ruedas.

## I. MARCO TEÓRICO

### A. Controlador PID

Para entender como se trabaja un PID, necesitamos saber que el PID es, un controlador o regulador PID es un dispositivo que permite controlar un sistema en lazo cerrado para que alcance el estado de salida deseado. El controlador PID está compuesto de tres elementos que proporcionan una acción Proporcional, Integral y Derivativa. Estas tres acciones son las que dan nombre al controlador PID.

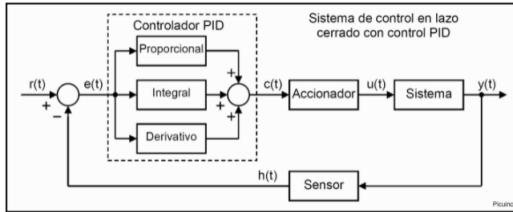


Figura 1: Diagrama del funcionamiento del PID

#### 1. Acción Proporcional ( $K_p$ )

Hay un límite máximo y mínimo para aplicar la señal MV por razones de restricción física y de seguridad: este rango operativo se llama Banda Proporcional. Si la señal de control opera fuera de rango, se dice que está saturada y opera con un comportamiento no lineal. Cuanto más grande sea el valor de la acción proporcional, más pequeña será la banda proporcional y mayor será la energía de control. Esto hace que el sistema responda más rápidamente, pero la señal de salida puede exceder o caer por

debajo del punto de ajuste de estado estable, y el error nunca se borrará por completo.

#### 2. Acción Integral ( $T_i$ )

Cuando la acción integral se aplica de forma aislada, la estabilidad relativa del sistema empeora, pero cuando se usa junto con la acción proporcional, ayuda a anular el error de forma permanente. Cuanto más grande sea el valor integral, más tiempo le tomará al sistema alcanzar el punto de ajuste de estado estable.

#### 3. Acción Derivativa ( $T_d$ )

El proceso generalmente tiene una inercia con respecto a los cambios en la MV, es decir, el tiempo que un cambio en la entrada del proceso provoca un cambio en la salida. La acción derivativa anticipa la acción de control para que el proceso reaccione más rápido de lo habitual, esta acción predictiva aumenta la estabilidad relativa del sistema y hace que la respuesta sea más rápida y menos oscilatoria a medida que pasa el tiempo. En estado estacionario, esta acción será nula porque el valor del error será constante.

### B. Modulo controlador de motores

El módulo controlador de motores L298N H-bridge nos permite controlar la velocidad y la dirección de dos motores de corriente continua o un motor paso a paso, de una forma muy sencilla gracias a los 2 los dos H-bridge que monta.

Básicamente un puente-H o H-bridge es un componente formado por 4 transistores que nos permite invertir el sentido de la corriente, y de esta forma podemos invertir el sentido de giro del motor.

\* Laboratorios de sistemas de control

\*\* e-mail: alexandercux@gmail.com

\*\*\* e-mail: dpi@ingenieria.usac.edu.gt

\*\*\*\* e-mail: 3505043180101@ingenieria.usac.edu.gt

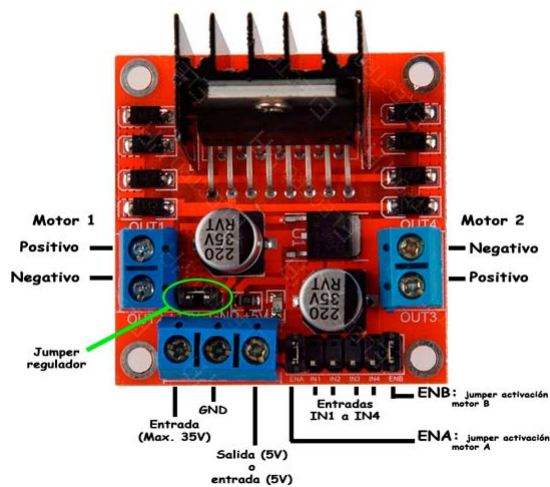


Figura 2: Controlador de Giro de motor

El rango de tensiones en el que trabaja este módulo va desde 3V hasta 35V, y soporta una intensidad de hasta 2A. A la hora de alimentarlo hay que tener en cuenta que la electrónica del módulo consume unos 3V, así que los motores reciben 3V menos que la tensión con la que alimentemos el módulo.

Además el L298N incluye un regulador de tensión que nos permite obtener del módulo una tensión de 5V, perfecta para alimentar a nuestro Arduino. Eso sí, este regulador sólo funciona si alimentamos el módulo con una tensión máxima de 12V

### C. Sistema UART

Es un dispositivo hardware capaz de traducir datos con formato paralelo a formato serie con el objeto de permitir una comunicación entre sistemas electrónicos. Actualmente es un circuito ampliamente incluido en microcontroladores.

### D. Encoder

#### 1. ¿Qué es un encoder?

El encoder es un transductor rotativo, que mediante una señal eléctrica sirve para indicar la posición angular de un eje, velocidad y aceleración del rotor de un motor.

#### 2. ¿Cómo funciona el encoder?

Un encoder se compone básicamente de un disco conectado a un eje giratorio. El disco está hecho de vidrio o plástico y se encuentra "codificado" con unas partes transparentes y otras opacas que bloquean el paso de la luz emitida por la fuente de luz (típicamente emisores

infrarrojos). En la mayoría de los casos, estas áreas bloqueadas (codificadas) están arregladas en forma radial.

A medida que el eje rota, el emisor infrarrojo emite luz que es recibida por el sensor óptico (o foto-transistor) generando los pulsos digitales a medida que la luz cruza a través del disco o es bloqueada en diferentes secciones de este. Esto produce una secuencia que puede ser usada para controlar el radio de giro, la dirección del movimiento e incluso la velocidad.

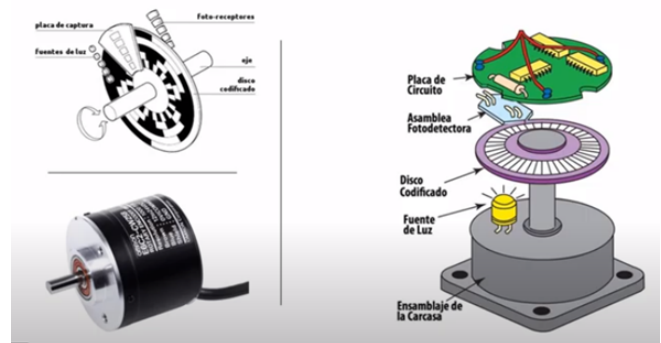


Figura 3: Funcionamiento de un encoder.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=Pi2bd57ktYA>

### 3. Algunos tipos de encoder's

**Incremental:** Como su nombre lo indica, es un encoder que determina el ángulo de posición por medio de realizar cuentas incrementales. Esto quiere decir que el encoder incremental provee una posición estratégica desde donde siempre comenzará la cuenta. La posición actual del encoder es incremental cuando es comparada con la última posición registrada por el sensor. Corresponde a un tipo de encoder incremental que utiliza dos sensores ópticos posicionados con un desplazamiento de 1/4 de ranura el uno del otro, generando dos señales de pulsos digitales desfasadas en 90° o en cuadratura. A estas señales de salida, se les llama comúnmente A y B. Mediante ellas es posible suministrar los datos de posición, velocidad y dirección de rotación del eje. Si se incluye la señal de referencia, se le denomina I (índice). Usualmente, si la señal A adelanta a la señal B (la señal A toma valor lógico "1" antes que la señal B, por ejemplo), se establece el convenio de que el eje está rotando en sentido horario, mientras que si B adelanta a A, el sentido será antihorario.

**Absoluto:** Se basa en la información proveída para determinar la posición absoluta en secuencia. Un encoder absoluto ofrece un código único para cada posición. Se dividen en dos grupos: los encoders de un solo giro y los encoders absolutos de giro múltiple y su tamaño es pequeño para permitir una integración mas simple.

### E. Sensores de distancia

Los sensores de distancia, transductores de distancia o transductores de posición lineal, son sensores con diferentes tecnologías para realizar la medida de posición lineal, medida de distancia lineal o medida de desplazamiento lineal. Son transductores físico – eléctrico que nos transforman la magnitud física en magnitud eléctrica, por cualquiera de las tecnologías existentes. Los rangos de medida disponibles son muy diversos, según el tipo de sensor de distancia empleado. Así pues, hay modelos que tienen rangos de unas pocas micras y otros modelos que pueden llegar a medir cientos de metros.

**Sensores Capacitivos:** Los sensores capacitivos de Micro-Epsilon realizan mediciones sin contacto con alta precisión de desplazamiento, distancia y posición sobre objetivos conductores de electricidad.

**Sensores inductivos Eddy Current:** Los sensores eddy current basados en corrientes de Foucault de Micro-Epsilon están diseñados para la medición sin contacto de desplazamiento, distancia, posición, oscilación y vibraciones. Son particularmente adecuados cuando se requiere alta precisión en entornos industriales hostiles (presión, suciedad, temperatura).

**Sensores de Triangulación Láser:** Los sensores optoNCDT han establecido hitos en la medición láser de desplazamiento en la industria. Ya sea para medición de desplazamiento, distancia o espesor, los sensores láser de Micro-Epsilon se consideran de los mejores de su clase. Estos sensores láser se utilizan, por ejemplo, en tareas de medición y monitorización en automatización industrial, producción de electrónica, robótica y fabricación de vehículos.

**Sensores Confocales:** Los sistemas de medición confocal cromáticos confocalDT se utilizan para la medición rápida de distancias y espesores. Diferentes modelos de sensores e interfaces de controlador abren campos de aplicación versátiles, como por ejemplo en la industria del vidrio, ingeniería médica y producción de plásticos.

**Interferómetros:** Los innovadores interferómetros de luz blanca de Micro-Epsilon son la referencia en lo que se refiere a mediciones de distancia y espesor de alta precisión. Estos sensores permiten resultados de medición estables con resolución subnanométrica.

**Sensores Láser para Larga Distancia:** Los sensores láser para larga distancia están diseñados para mediciones sin contacto. El rango de medición de estos sensores va desde 10 m hasta 3000 m. Estos sensores se utilizan, por ejemplo, en el posicionamiento y clasificación de equipos de construcción y manipulación de maquinaria.

**Sensor de distancia por infrarrojo:** Se basa en un sistema de emisión – receptor de radiación.

**Sensor ultrasónico:** Consiste en enviar pulsos haciendo que las ondas reboten en la superficie.

### F. Propuestas del tipo de sensor de distancia y tipo de encoder a utilizar

Se piensa utilizar un sensor ultrasónico o capacitivo, en el caso del ultrasónico el HC-SR04, y el tipo de encoder será incremental ya que lo que se desea medir es una velocidad angular, es decir la razón de cambio de la posición angular en función del tiempo, ya que no se necesita una posición exacta del ángulo.



Figura 4: Propuesta del sensor de distancia a utilizar

Fuente: <https://www.hwlibre.com/hc-sr04/>

## II. MATERIALES

### A. Motorreductor de 120 RPM con encoder a 6V



Figura 5: Motorreductor de 120 RPM con encoder a 6V.

Fuente: <https://shortest.link/D61>

#### Características

Datos sin carga en el motor:

- Tensión de funcionamiento: 6 V.
- Velocidad: 210 RPM.
- Corriente de funcionamiento: 130mA, Pico 3.2A
- Torque: 10 kg-cm.
- Relación de engranaje: 34:1.
- Peso: 88 g.
- Resolución del encoder (Hall): 341.2PPR
- Longitud del cable: 20 cm.

### III. PRESUPUESTO FINAL DE GASTOS.

Componente	Cantidad	Precio [Q]	Total [Q]
Motorreductor de 120 RPM con encoder	2	188.00	376.00
L298N Controlador de Motor	1	40.00	40.00
Base para sensor ultrasónico HC-SR04	1	9.00	9.00
Arduino Mega	1	125.00	125.00
Moto-reductores	4	25.00	100.00
Led's	3	1.50	4.50
Protoboard	1	11.00	11.00
Bornera	2	2.00	4.00
Jumpers	20	15.00	15.00
<b>Total</b>			<b>Q684.50</b>

Cuadro I: Tabla de gastos presupuestados.

Fuente: Elaboración propia.

### IV. FUNCIONAMIENTO DEL PROYECTO

#### 1. Funcionamiento del diagrama de bloques

- I) Permitimos una comunicación entre sistemas electrónicos haciendo uso de bluetooth. Actualmente es un circuito ampliamente incluido en microcontroladores poseen un sistema UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter).
- II) El sistema UART se comunica a través del microcontrolador de una Raspberry pi y esta manda datos al puerto de salida y llegando a un sistema PID.
- III) El algoritmo del control PID consta de tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor proporcional depende del error actual, el integral depende de los errores pasados y el derivativo es una predicción de los errores futuros del sistema antiderrape.
- IV) El sistema PID envía la sumatoria de las tres señales a un DAC (Conversor de señal digital a analógica a un puente H para cada motor.
- V) Un puente H no solo se usa para invertir el giro de un motor, también se puede usar para frenarlo de manera brusca, al hacer un corto entre los bornes del motor, o incluso puede usarse para permitir que el motor frene bajo su propia inercia, cuando desconectamos el motor de la fuente que lo alimenta, accionado por las instrucciones del sistema DAC.
- VI) Los motores reaccionan por medio del puente H, lo motores utilizados poseen un encoder, el encoder es un transductor rotativo, que mediante una señal eléctrica sirve para indicar la posición angular de un eje, velocidad y aceleración del rotor de un motor.

- VII) Los datos llegan a un sistema ADC (Conversor de señal analógica a digital), funcionando como realimentación para el controlador PID y pudiendo recalcular las nuevas instrucciones para los motores.

### V. RESULTADOS

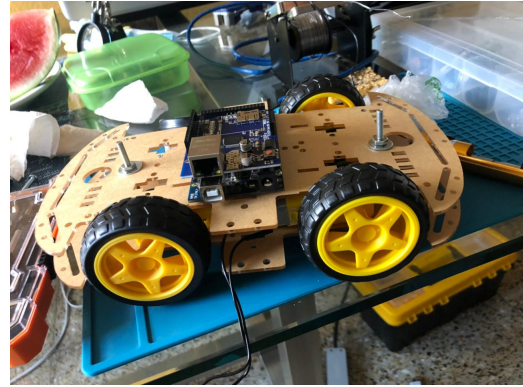


Figura 6

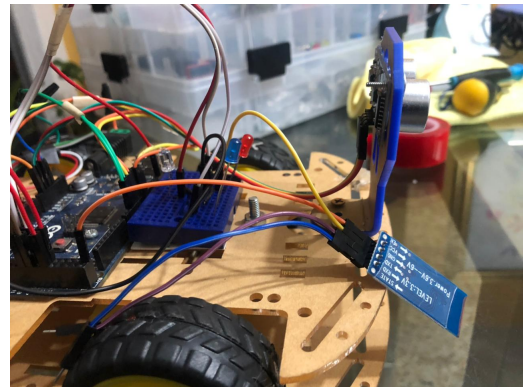


Figura 7



Figura 8



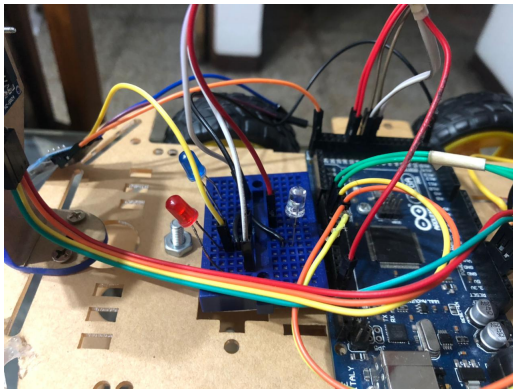


Figura 9

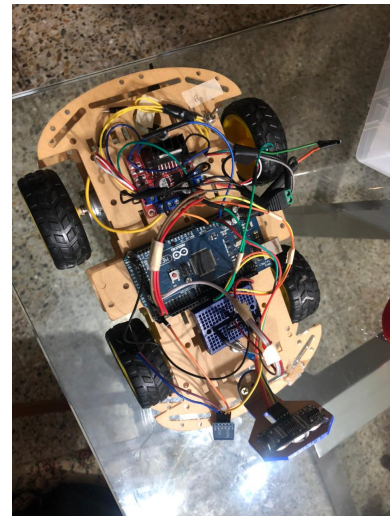


Figura 12

#### A. Código con los avances del proyecto

Enlace al repositorio Github: <https://n9.cl/upc0p>

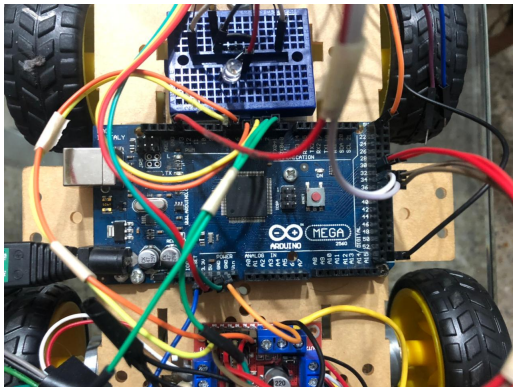


Figura 10

#### VI. INCONVENIENTES DE LA REALIZACIÓN.

1. La comunicación entre la pantalla LCD y el código utilizado inicialmente no fue eficiente con los datos esperados en las respuestas, ya que genero conflicto.
2. Se genero un problema en la alimentación del puente H, y se genero conflicto en las velocidades de las llanta, ya que no iban a la misma en tiempos determinados,
3. Consumió tiempo encontrar el software adecuado para mostrar las gráficas requeridas del PID.

#### VII. SOLUCIONES ENCONTRADAS.

1. Se utilizo LabView como solución para poder mostrar las gráficas solicitadas.
2. Se modifico la conexión de los encoders para lograr que la velocidad de las llantas se sincronizaran a la hora de detener el vehículo.
3. Se logro que el control en el PWM, tuviera una sincronización y respuesta de señal a la hora de controlar los moto-reductores y tuviera un estado estable en el movimiento.

#### VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. Se colocó una pantalla LCD al prototipo, generó un conflicto en el código. La implementación de una

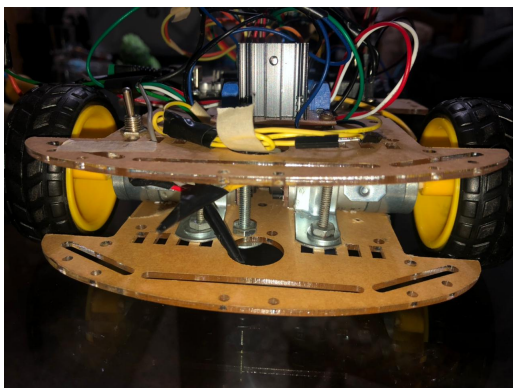


Figura 11

pantalla LCD se encuentra sujeto a cambios, usándolo solo para poder monitorear los datos que se adquieren en tiempo real.

2. Se colocaron dos moto reductores en la parte trasera y dos case de motorreductores en el tren delantero, para colocar otras dos ruedas, se retiro el motor de estas para no generar fricción alguna en el prototipo, al momento que este avance.
3. Se adaptó un arduino mega en un case de acrílico del prototipo, el peso no alteró significativamente la movilidad del mismo.

## IX. CONCLUSIÓN

1. Se logró determinar una función de utilidad del PID directo al enconder del motor siendo así un sistema de lazo abierto para la variación del movimiento, velocidad y detenimiento de dicho motores con el encoder.
2. Los sensores de distancia fueron controlados por un sensor ultrasónico que nos mostrara una respuesta desplegada para cada dato del movimiento del vehículo.
3. El pwm nos mostrara las respuestas de la señal de dichos dispositivos así para determinar no solo en

estado ideal si no como es el comportamiento de la alimentación y del funcionamiento en forma de onda de tren de pulsos etc.

## X. RECOMENDACIONES

1. Verificar sintaxis del código y encontrar conflictos generados con la pantalla LCD. Implementar si no genera conflictos en pruebas posteriores.
2. Implementar un sistema PID digital para minimizar gastos en el desarrollo del prototipo.
3. Hacer uso de encoders ópticos, de ser necesario cambiar los motorreductores.
4. Tener en cuenta las variaciones de temperatura en el ambiente, ya que estas variaciones, pueden darnos datos erróneos, al momento de utilizar el sensor ultrasónico. Si bien es cierto, un cambio pequeño como puede ser unos cuantos grados centígrados, no varían demasiado, pero al momento de que sea un cambio de temperatura drástico si puede afectar los resultados, que mida este sensor.

---

[1] Controlador PID digital—Control Automático—Pícuino. (s. f.). Recuperado 15 de agosto de 2021, de <https://www.picuino.com/es/arduprog/control-pid-digital.html>

[2] Mecafenix, I. (2017, abril 28). Encoder ¿cómo funciona? Y sus tipos. Ingeniería Mecafenix. <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/encoder/>

[3] Sensores de Distancia, Posición y Desplazamiento. (s. f.). Mesurex. Recuperado 16 de agosto de 2021, de <https://mesurex.com/product-category/productos/sensores-de-distancia-posicion-y-desplazamiento/>