



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería en Mecatrónica**  
**Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de:**  
**Ingeniero en Mecatrónica**

**Tema:** “Diseño y construcción de una silla de ruedas inteligente con reconocimiento de voz para contribuir en la autonomía móvil de una persona tetrapléjica”.

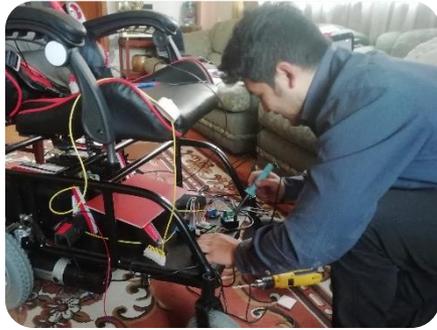
**Autores:** Taboada Flores, Pablo Hernán

Veintimilla Villarroel, Joel Alexander

**Directora:** Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

Latacunga, 2023





1 Planteamiento del problema

2 Objetivos

3 Diseño Mecánico

4 Diseño Electrónico

5 Diseño del controlador

6 Reconocimiento de voz

7 Pruebas y resultados

8 Conclusiones y recomendaciones



# Planteamiento del problema

- La tetraplejía o cuadriplejía, es un tipo de parálisis causada principalmente por una lesión, fractura o enfermedad que provoca daño en la motricidad de manera parcial o total en extremidades inferiores y superiores.
- Una persona con tetraplejía está condicionada a moverse con una silla de ruedas apoyada de otra persona, lo que genera una autonomía nula en el individuo, ya que sus movimientos son totalmente dependientes.
- Entre los varios casos de lesión en el sistema nervioso central a nivel nacional, se encuentra José Luis Gavilanes Cordones, un paciente del Patronato Municipal Amparo Social de Latacunga que sufrió un accidente de tráfico que le provocó una lesión en las vértebras cervicales C3 y C4, cuyo diagnóstico médico estableció tetraplejía espástica por lesión medular a nivel cervical, calificada como discapacidad del 83%, es decir, una parálisis completa a nivel del cuello



Diseñar y construir una silla de ruedas inteligente para contribuir en la autonomía móvil de una persona tetraplégica mediante reconocimiento de VOZ



# Objetivos específicos

- Investigar el estado actual de la robótica asistencial y el reconocimiento de voz enfocado en discapacidad física mediante documentos, libros y publicaciones que permitan determinar los parámetros de diseño.
- Diseñar el sistema mecánico de la silla de ruedas, considerando el criterio del diseño ergonómico que se adapte a las características físicas de una persona tetrapléjica.
- Diseñar y seleccionar los sistemas electrónicos de control y potencia que generen los movimientos del robot a partir de las instrucciones establecidas por el controlador.
- Diseñar el controlador basado en el modelo cinemático de la silla de ruedas para proporcionar condiciones de movimiento autónomas y estables.
- Desarrollar el sistema de reconocimiento de voz que permita el control e interacción del paciente con la silla de ruedas.
- Realizar pruebas experimentales con la silla de ruedas inteligente para validar la autonomía móvil de la persona con tetraplejia.



## Normativa ISO 7176-5

| Descripción      | Clase A [mm] |        | Clase B [mm] |        | Clase C [mm] |        |
|------------------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
|                  | Típico       | Máximo | Típico       | Máximo | Típico       | Máximo |
| Longitud ocupada | 1240         | 1300   | 1300         | 1300   | 1300         | 1300   |
| Ancho ocupado    | 620          | 700    | 680          | 700    | 700          | 700    |
| Altura ocupada   | 1500         | 1600   | 1530         | 1600   | 1590         | 1600   |

a) Longitud ocupada



1150 mm

b) Ancho ocupado



680 mm

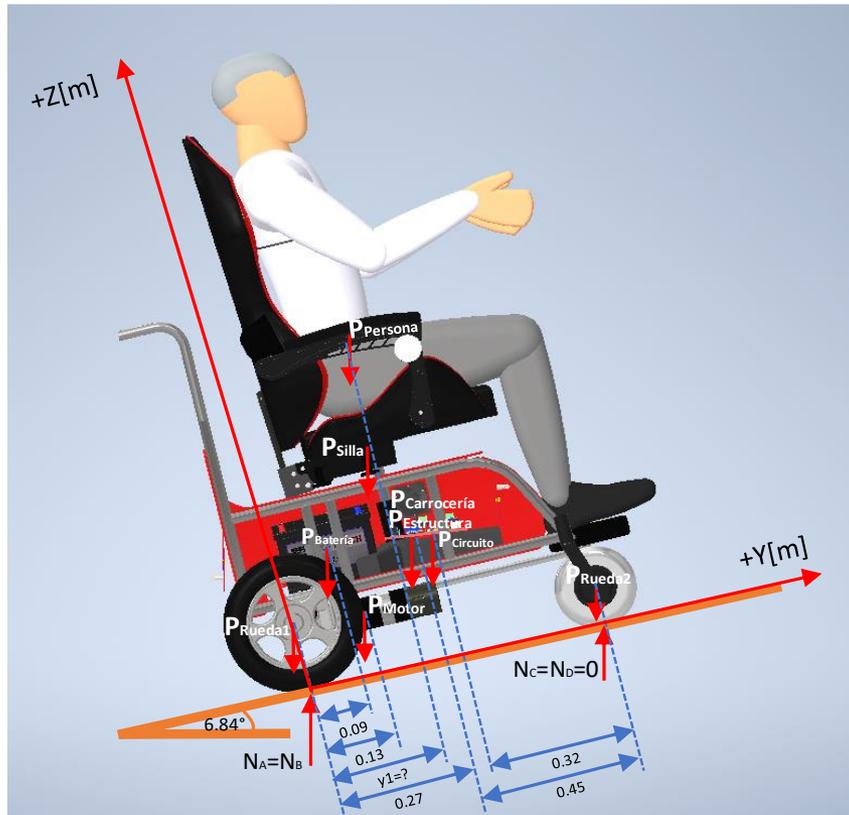
c) Altura ocupada



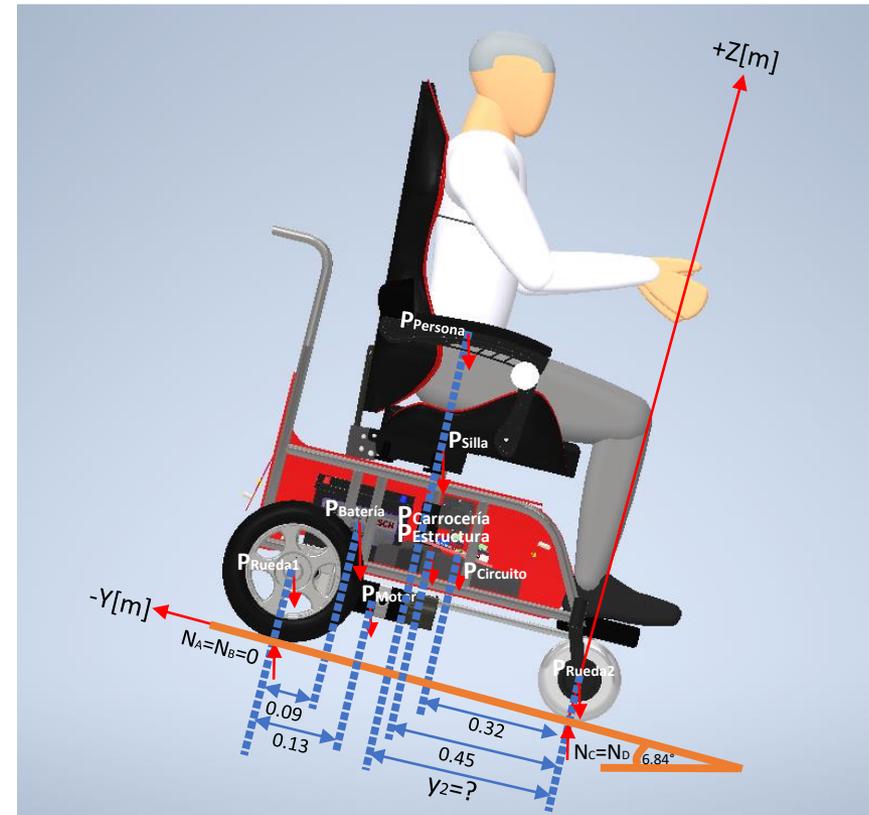
1460 mm

## Análisis de volcamiento

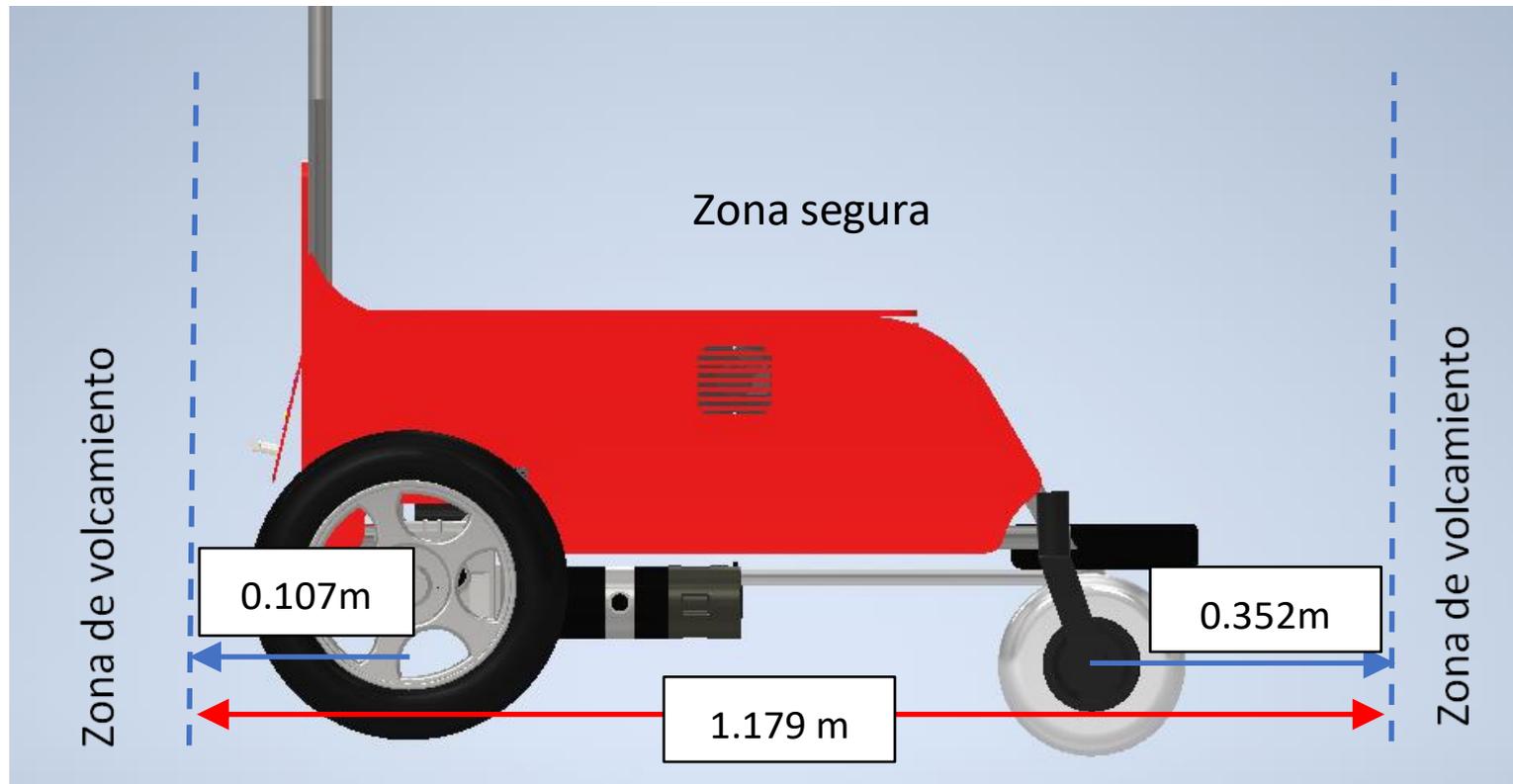
a) Análisis de volcamiento longitudinal con respecto a las ruedas posteriores.



b) Análisis de volcamiento longitudinal con respecto a las ruedas frontales.

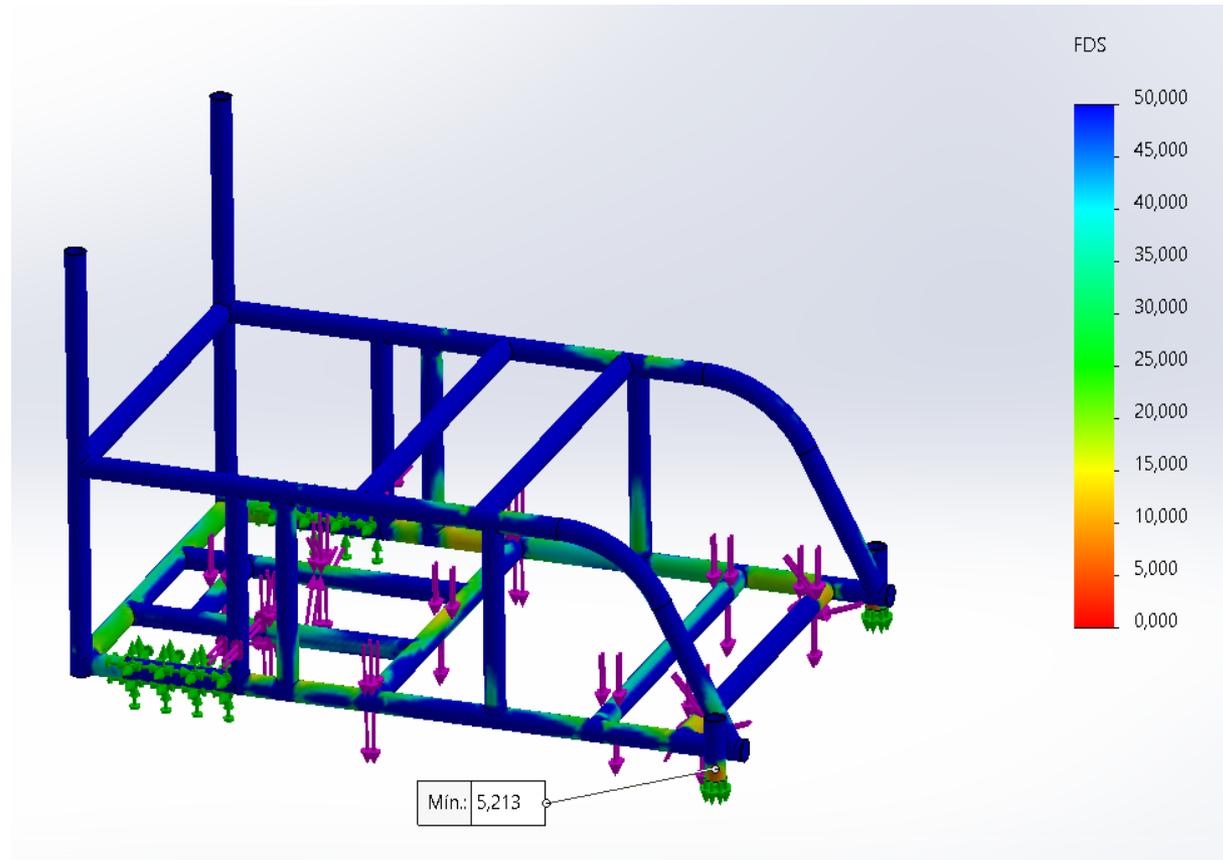


## Zona segura para evitar el volcamiento



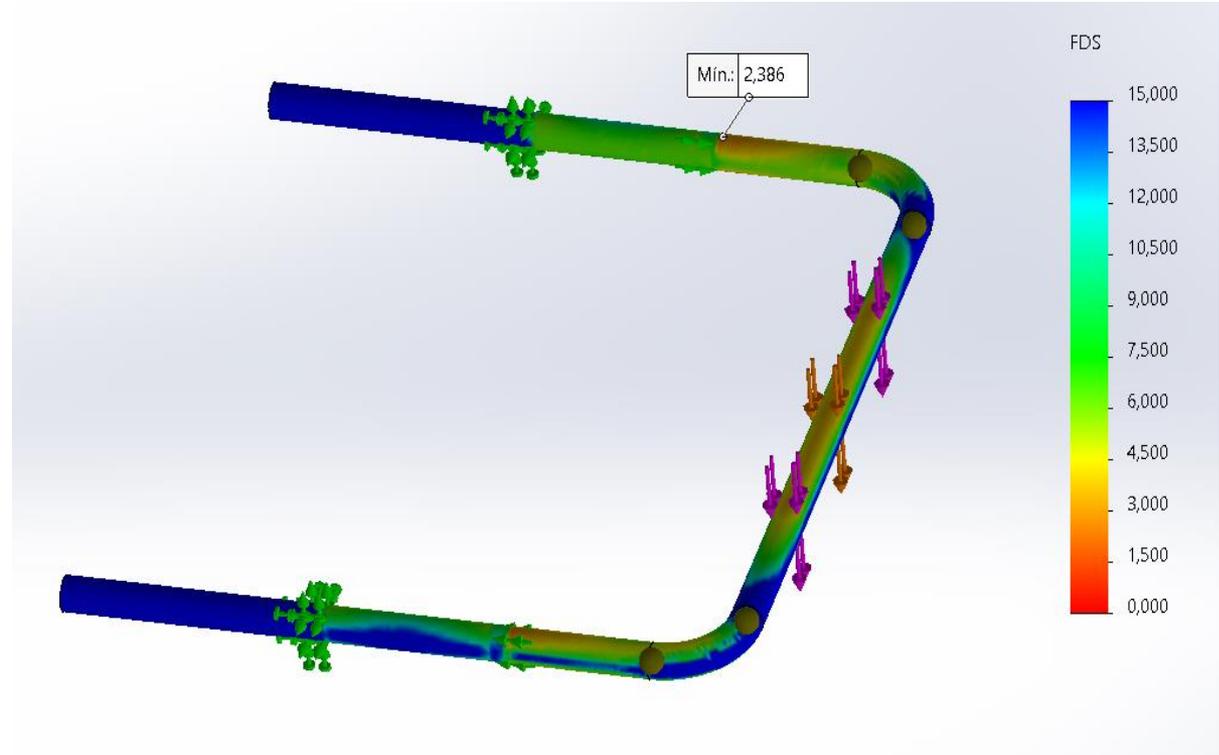
## Diseño de elementos finitos del bastidor

| Parámetro       | Valor    |
|-----------------|----------|
| $S_y$           | 250 MPa  |
| $S_u$           | 400 MPa  |
| $E$             | 200 GPa  |
| $G$             | 77.2 GPa |
| $N_{requerido}$ | 2        |



## Diseño de elementos finitos de la estructura del reposapiés

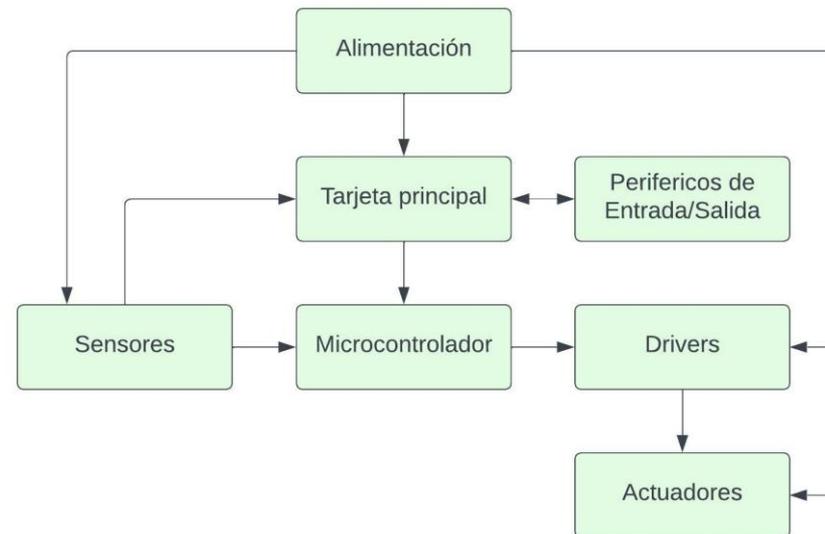
| Parámetro       | Valor    |
|-----------------|----------|
| $S_y$           | 250 MPa  |
| $S_u$           | 400 MPa  |
| $E$             | 200 GPa  |
| $G$             | 77.2 GPa |
| $N_{requerido}$ | 2        |



## Esquema del sistema electrónico

El circuito eléctrico contempla un sistema distribuido.

- Tarjeta principal: algoritmo de inteligencia artificial, periféricos de entrada y salida.
- Tarjeta de control: sistema de control, sensores, actuadores.
- Circuito de Potencia: drivers, motores, baterías.



## Selección de componentes de control

### Tarjeta principal



**Raspberry Pi 4 Model B**

| Característica             | Valor             |
|----------------------------|-------------------|
| Almacenamiento             | MicroSD           |
| RAM                        | 8 GB              |
| Velocidad de procesamiento | 1,5 GHz           |
| Puertos USB                | 4                 |
| Tamaño                     | 88 x 58 x 18,5 mm |

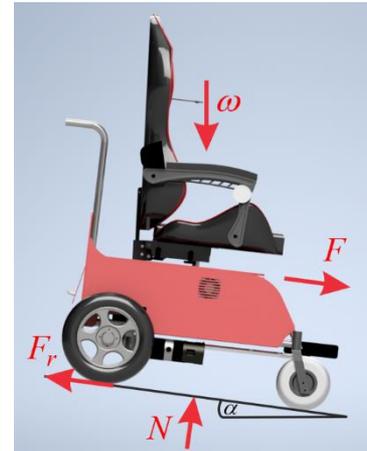
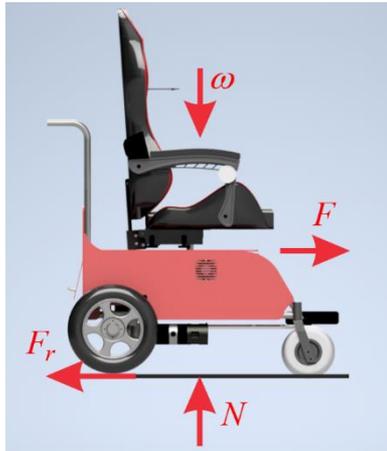
### Microcontrolador



**Raspberry Pi Pico**

| Característica   | Valor          |
|------------------|----------------|
| Procesador       | 32 bits        |
| Frecuencia PWM   | 19,2 MHz       |
| Frecuencia reloj | 133 MHz        |
| Comunicaciones   | UART, SPI, I2C |
| Tamaño           | 51 x 21 x 1 mm |

## Cálculo de la potencia del motor



### Datos

$$m = 182.8 \text{ Kg}$$

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$u_s = 0.8$$

$$u_k = 0.6$$

$$\alpha = 6.84^\circ$$

$$v = 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### Potencia

$$P = \frac{w}{t}$$

$$P = Fv$$

$$P = (1637.98 \text{ N}) \left( 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$P = 491.39 \text{ [W]}$$

Descripción

Plano horizontal

Plano inclinado

Plano inclinado

ascendente

descendente

$\mu_s$

$\mu_k$

$\mu_s$

$\mu_k$

$\mu_s$

$\mu_k$

Fuerza de empuje

1434.61N

1075.96N

1637.98N

1281.88N

1210.83N

854.73N



## Selección de componentes de potencia

### Motorreductor



**SCD2-030ABB**

| Característica          | Valor   |
|-------------------------|---------|
| Voltaje                 | 24 VDC  |
| Amperaje                | 13 A    |
| Potencia                | 250 W   |
| Torque                  | 17 N.m  |
| Velocidad nominal       | 135 RPM |
| Relación de transmisión | 19:1    |

### Driver



**BTS7960**

| Característica     | Valor     |
|--------------------|-----------|
| Voltaje máximo     | 27 VDC    |
| Amperaje máximo    | 43 A      |
| Frecuencia PWM     | 25 KHz    |
| Tipo de canal      | Simple    |
| Señales de control | 5/3.3 VDC |

## Selección de componentes de potencia

### Baterías

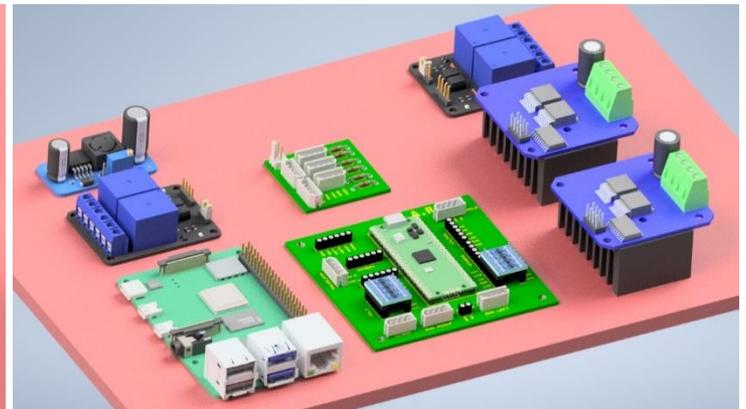
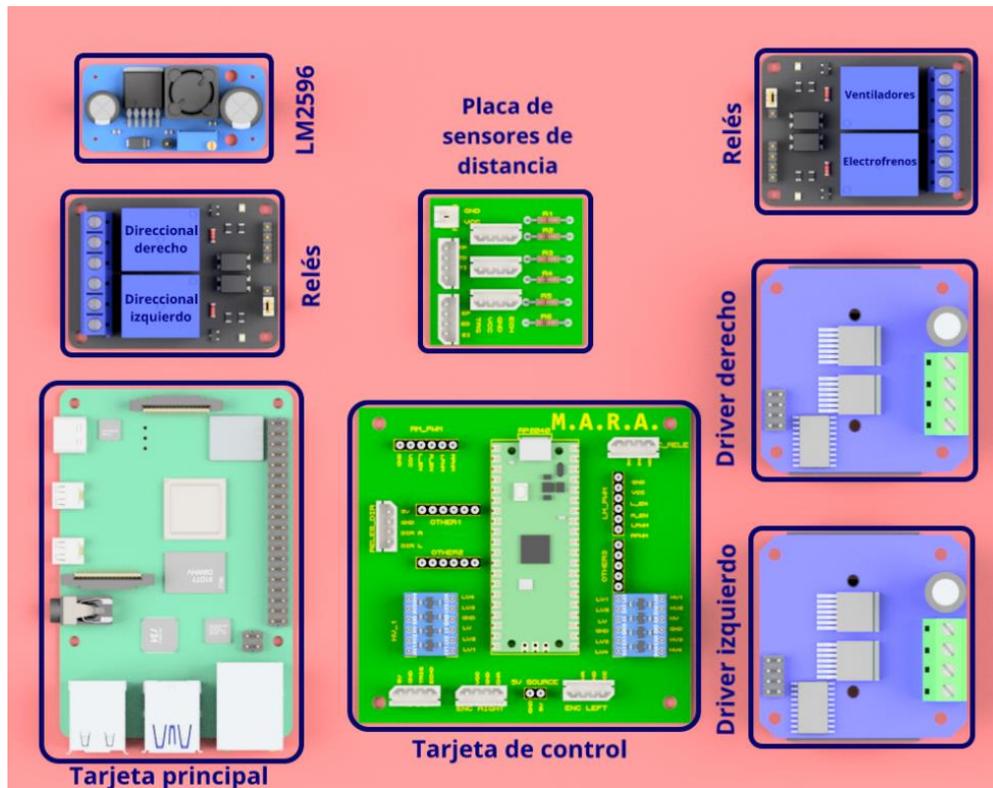


**Bosch S3 40Ah**

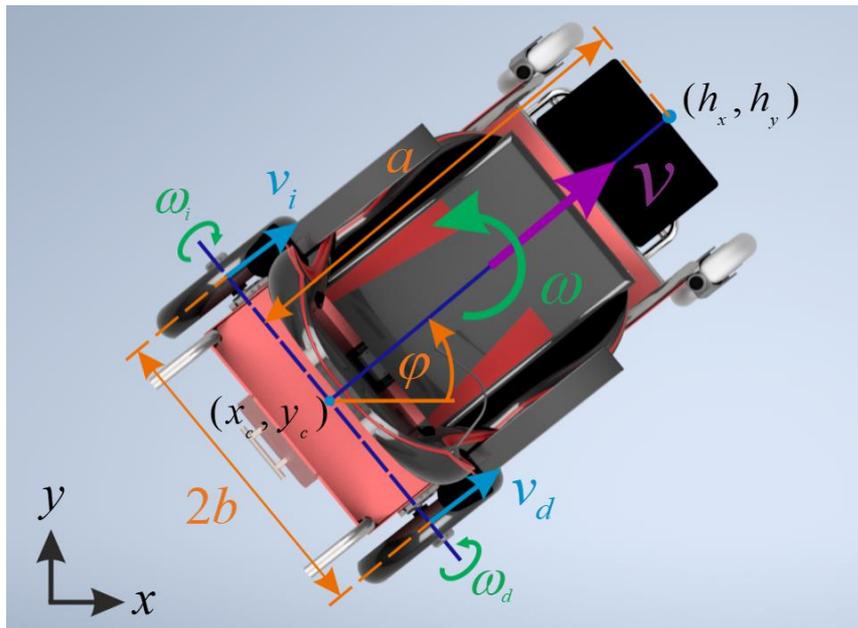
| Característica             | Valor   |
|----------------------------|---------|
| Voltaje                    | 12 VDC  |
| Amperaje                   | 40 Ah   |
| Ciclos de vida (50% carga) | 400     |
| Peso                       | 11.7 Kg |



## Disposición del tablero de control



## Modelo cinemático del robot móvil diferencial



**Velocidades del robot**

$$v = \frac{v_d + v_i}{2}$$

$$\omega = \frac{v_d - v_i}{2b}$$

**Velocidades de las ruedas**

$$\omega_d = \frac{2v + \omega b}{2r}$$

$$\omega_i = \frac{2v - \omega b}{2r}$$

**Modelo geométrico**

$$\mathbf{h} = \begin{bmatrix} h_x \\ h_y \\ \varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_c + a \cos(\varphi) \\ y_c + a \sin(\varphi) \\ \varphi \end{bmatrix}$$

**Modelo cinemático**

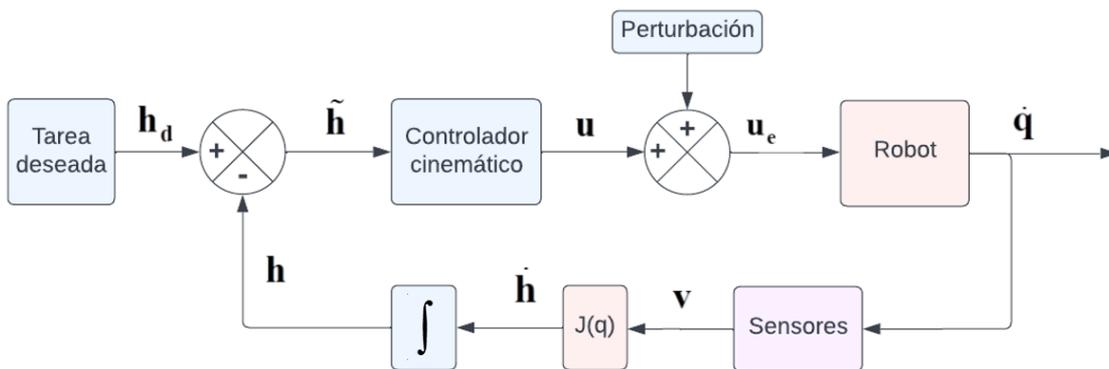
$$\dot{\mathbf{h}} = \begin{bmatrix} \dot{h}_x \\ \dot{h}_y \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}_c - a \sin(\varphi) \dot{\varphi} \\ \dot{y}_c + a \cos(\varphi) \dot{\varphi} \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix}$$

$$\dot{\mathbf{h}} = \begin{bmatrix} \dot{h}_x \\ \dot{h}_y \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v \cos(\varphi) - a \sin(\varphi) \omega \\ v \sin(\varphi) + a \cos(\varphi) \omega \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & -a \sin(\varphi) \\ \sin(\varphi) & a \cos(\varphi) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}$$

$$\dot{\mathbf{h}}(t) = \mathbf{J}(\varphi) \mathbf{v}(t)$$



## Controlador cinemático de regulación y seguimiento

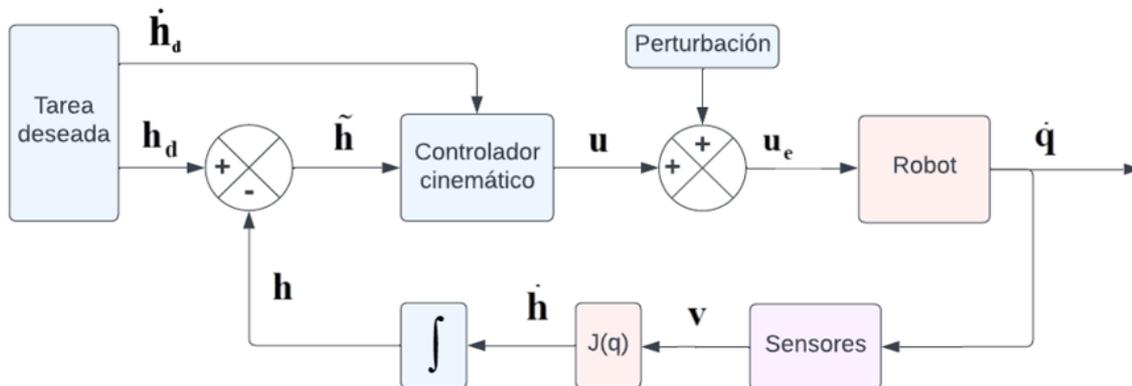


Proceso

$$\dot{\mathbf{h}}(t) = \mathbf{J}(\boldsymbol{\varphi})\mathbf{v}(t)$$

Ley de control regulación

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{J}^{-1}(\boldsymbol{\varphi})\mathbf{W}\tilde{\mathbf{h}}(t)$$



Ley de control seguimiento

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{J}^{-1}(\boldsymbol{\varphi})\left(\dot{\mathbf{h}}_d(t) + \mathbf{W}\tilde{\mathbf{h}}(t)\right)$$



## Controlador PID Discreto

### PID continuo

$$u(t) = k_p \left[ e(t) + \frac{1}{t_i} \int_0^t e(t) dt + t_d \frac{d}{dt} e(t) \right]$$

### PID Discreto

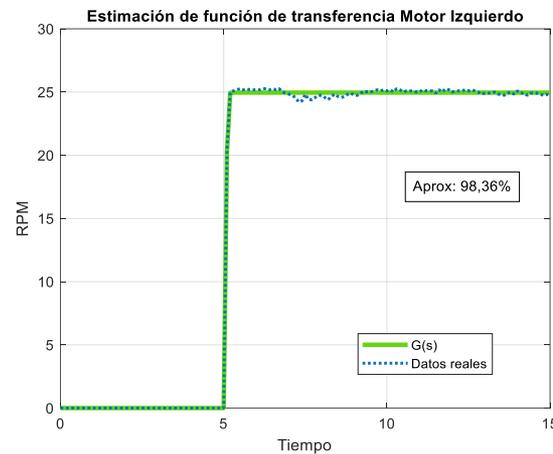
$$u(k) = u(k-1) + q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 e(k-2)$$

$$q_0 = k_p \left( 1 + \frac{T_s}{2t_i} + \frac{t_d}{T_s} \right)$$

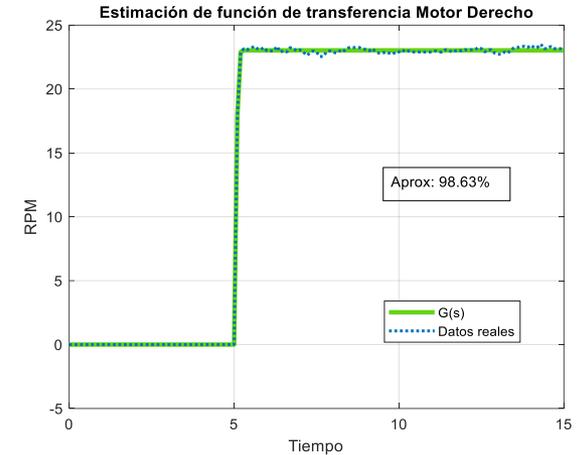
$$q_1 = -k_p \left( 1 - \frac{T_s}{2t_i} + \frac{2t_d}{T_s} \right)$$

$$q_2 = k_p \left( \frac{t_d}{T_s} \right)$$

### Sintonía en lazo abierto



$$G(s) = \frac{0.0016633}{0.015247s + 1} e^{-0.1244s}$$



$$G(s) = \frac{0.001535}{0.026811s + 1} e^{-0.1097s}$$

| Constante       | $K_p$ | $T_i$  | $T_d$ |
|-----------------|-------|--------|-------|
| Motor derecho   | 1.5   | 0.2194 | 2     |
| Motor izquierdo | 1.4   | 0.2488 | 2.1   |



## Análisis de estabilidad

### Criterio de Lyapunov

$$E_x > 0$$

$$\frac{d}{dt} E_x < 0$$

### Proceso

$$\dot{\mathbf{h}}(t) = \mathbf{J}(\boldsymbol{\varphi})\mathbf{v}(t)$$

### Controlador

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{J}^{-1}(\boldsymbol{\varphi})\mathbf{W}\tilde{\mathbf{h}}(t)$$

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{J}^{-1}(\boldsymbol{\varphi})\left(\dot{\mathbf{h}}_d(t) + \mathbf{W}\tilde{\mathbf{h}}(t)\right)$$

### Obtener ELC

$$\dot{\mathbf{h}}(t) = \mathbf{J}(\boldsymbol{\varphi})\mathbf{J}^{-1}(\boldsymbol{\varphi})\mathbf{W}\tilde{\mathbf{h}}(t)$$

$$\dot{\mathbf{h}}(t) = \mathbf{W}\tilde{\mathbf{h}}(t)$$

$$\tilde{\mathbf{h}} = \mathbf{h}_d - \mathbf{h}$$

$$\dot{\tilde{\mathbf{h}}} = \dot{\mathbf{h}}_d - \dot{\mathbf{h}}$$

$$\dot{\tilde{\mathbf{h}}} = -\dot{\tilde{\mathbf{h}}}$$

$$-\dot{\tilde{\mathbf{h}}} = \mathbf{W}\tilde{\mathbf{h}}(t)$$

$$\dot{\tilde{\mathbf{h}}} = -\mathbf{W}\tilde{\mathbf{h}}(t) \quad \text{ELC}$$

### Función candidata Lyapunov

$$V(\tilde{\mathbf{h}}) = \frac{1}{2}\tilde{\mathbf{h}}^T\tilde{\mathbf{h}}$$

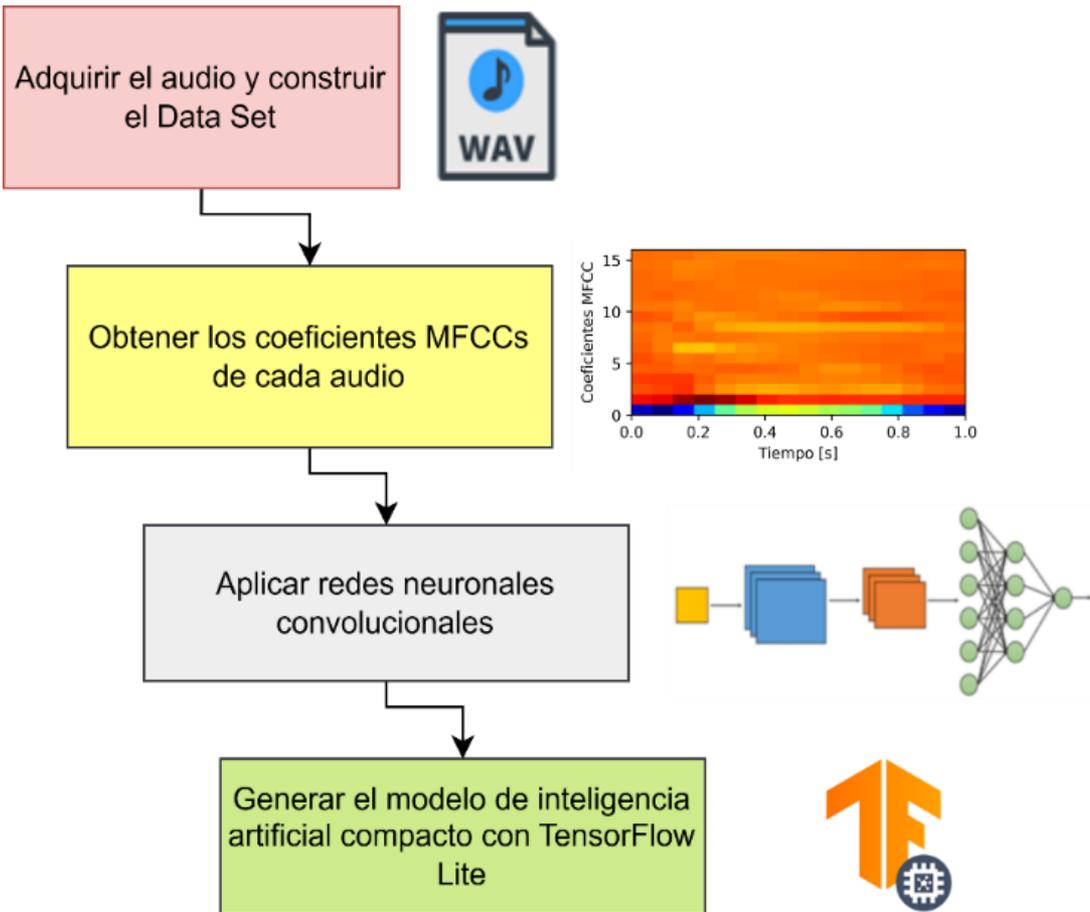
$$\dot{V}(\tilde{\mathbf{h}}) = \tilde{\mathbf{h}}^T\dot{\tilde{\mathbf{h}}}$$

$$\dot{V}(\tilde{\mathbf{h}}) = \tilde{\mathbf{h}}^T(-\mathbf{W}\tilde{\mathbf{h}})$$

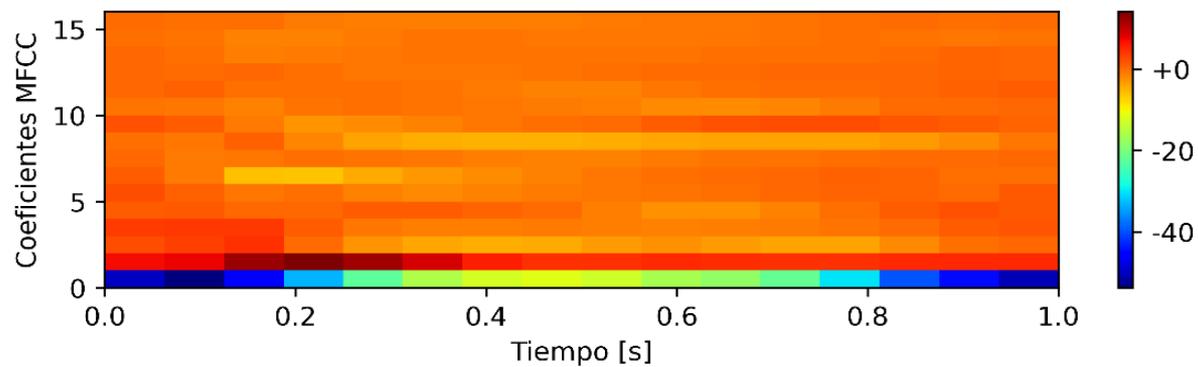
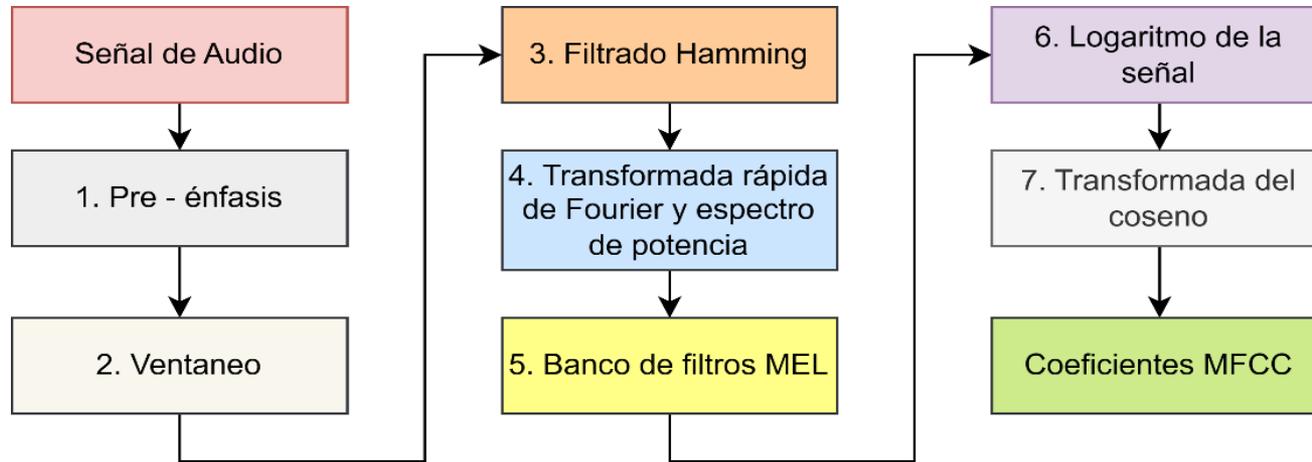
$$\dot{V}(\tilde{\mathbf{h}}) = -\tilde{\mathbf{h}}^T\mathbf{W}\tilde{\mathbf{h}}$$



## Detección de la palabra clave



## Obtención de los coeficientes MFCC



## 1. Pre-énfasis

$$y[n] = x[n] - a \cdot x[n-1]$$

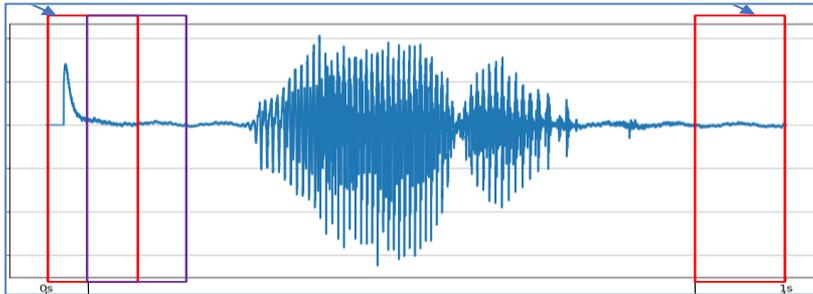
$x$ : corresponde a la señal de audio discretizada.

$a$ : constante del filtro que varía entre 0 a 1, habitualmente es 0.95

## 2. Ventaneo

Ventana Inicial

Ventana final



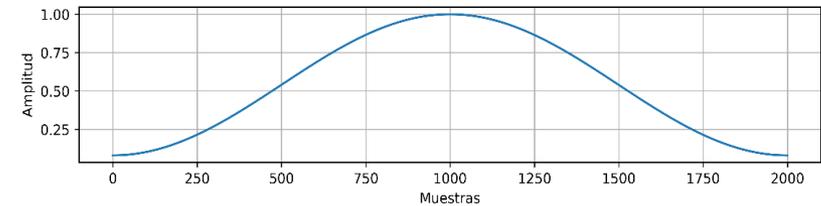
Duración: 1000 milisegundos

Tamaño de ventana: 200 milisegundos

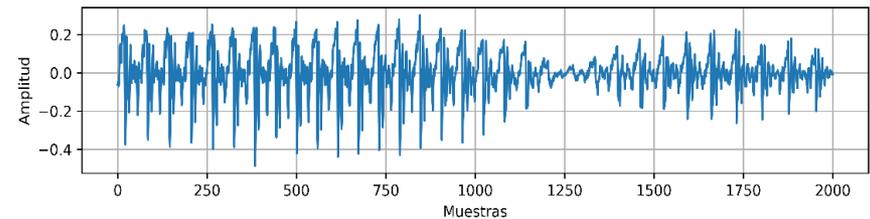
Solapamiento: 50 milisegundos

## 3. Filtrado Hamming

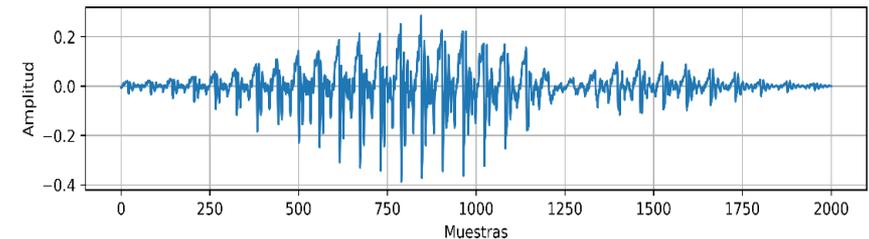
### a) Filtro Hamming



### b) Señal de una ventana.



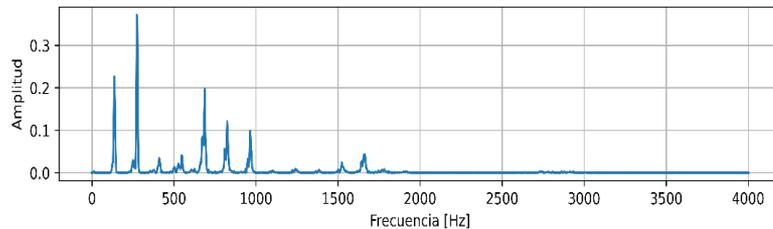
### c) Ventana filtrada.



## 4. Transformada rápida de Fourier y espectro de potencia

### a) Transformada rápida de Fourier

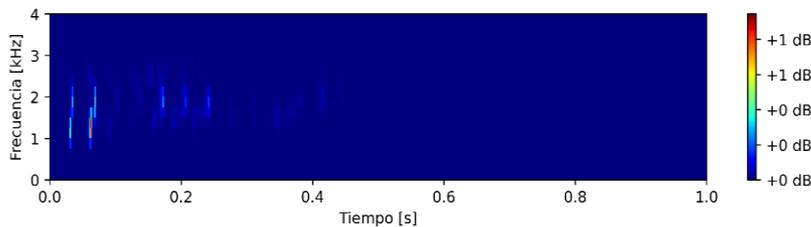
$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} X(n) \cdot e^{\frac{-2\pi knj}{N}}$$



### b) Espectro de potencia

$$P(k) = \frac{|X(k)|^2}{N_{FFT}}$$

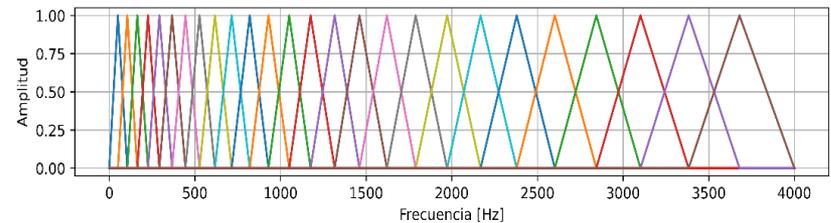
$$N_{FFT} = 2^k \quad k: 1, 2, 3, \dots, N$$



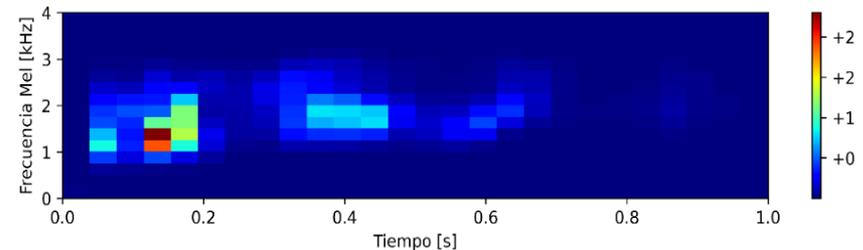
## 5. Banco de filtros MEL

$$M = 2595 \log_{10} \left( 1 + \frac{f}{700} \right)$$

### a) Filtros triangulares

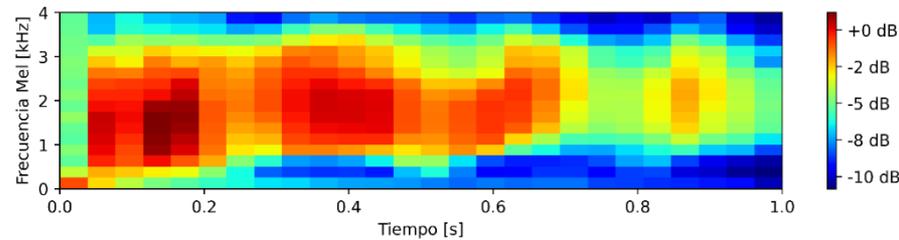


### b) Espectro de potencia filtrado



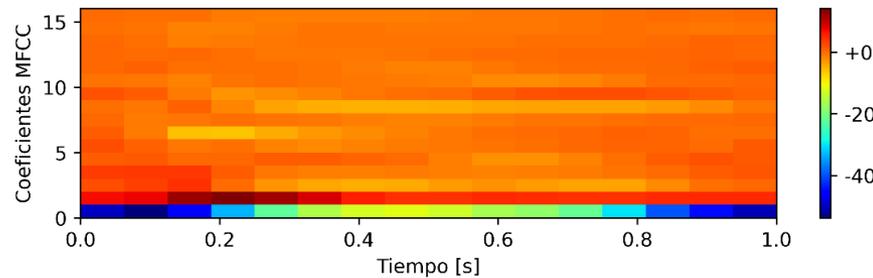
## 6. Logaritmo de la señal

$$L = 20 \cdot \log_{10}(\mathbf{R})$$



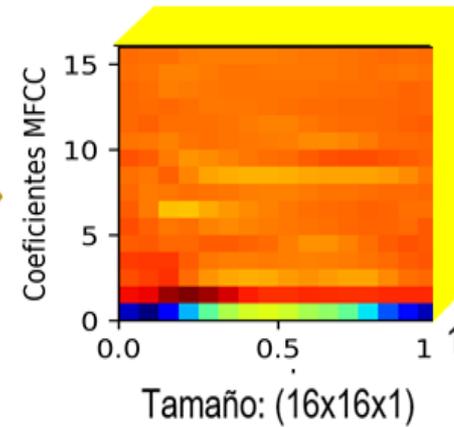
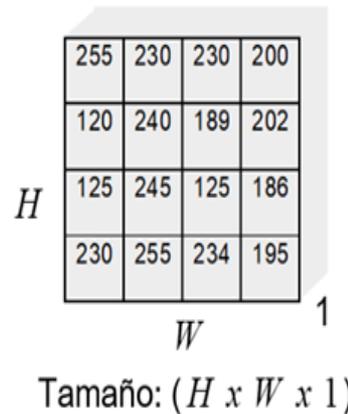
## 7. Transformada del Coseno

$$\mathbf{Q}(k) = \alpha(k) \sum_{n=0}^{N-1} \mathbf{X}(n) \cdot \cos\left(\frac{\pi k(2n+1)}{2N}\right)$$



## Imagen en escala de grises Vs. MFCC

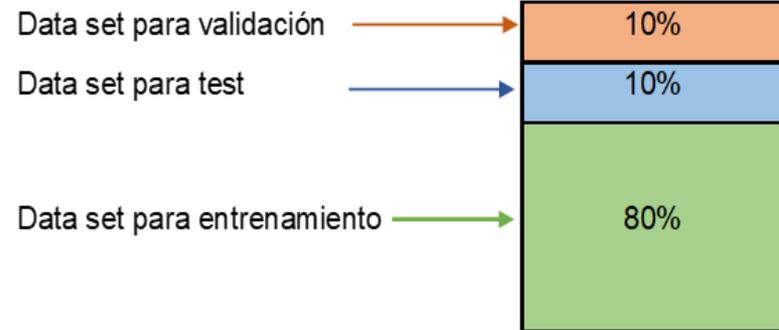
Imagen en escala de grises



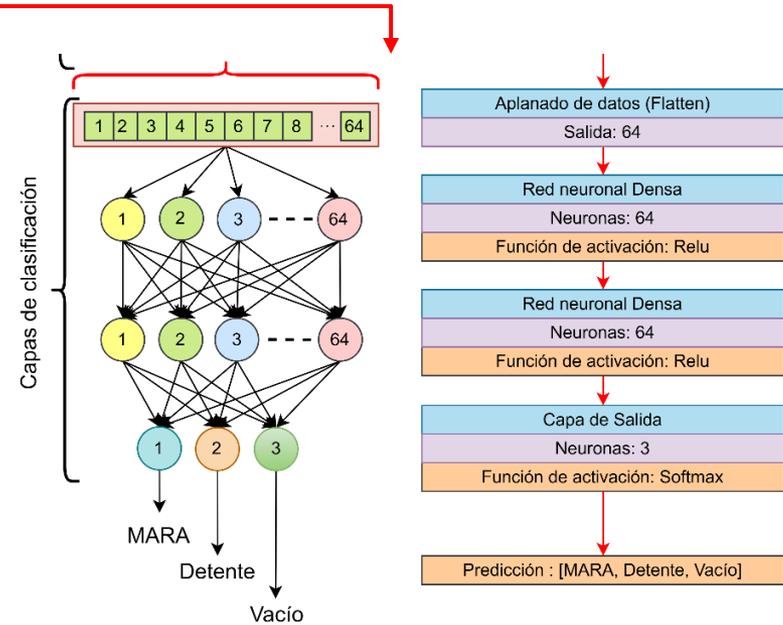
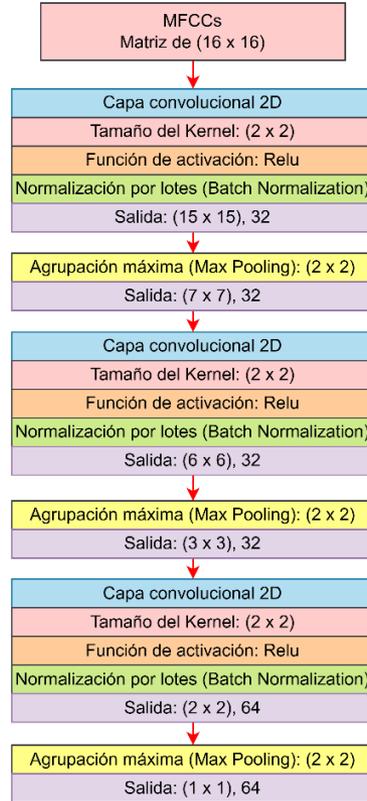
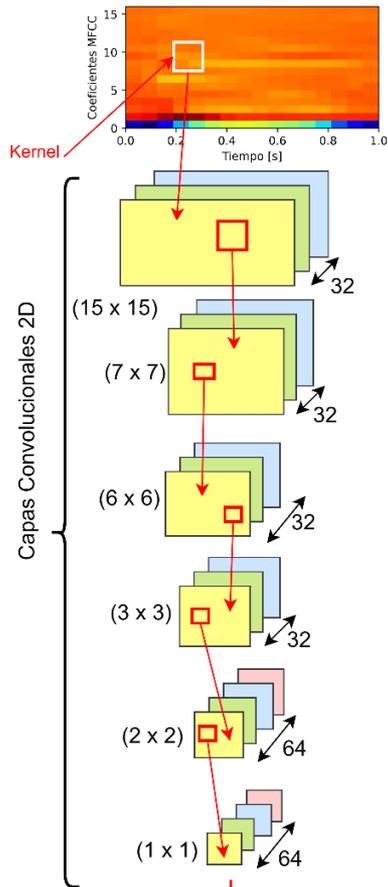
$$Neuronas_{Entrada} = H \times W \times D$$

$$Neuronas_{Entrada} = (16) \cdot (16) \cdot (1)$$

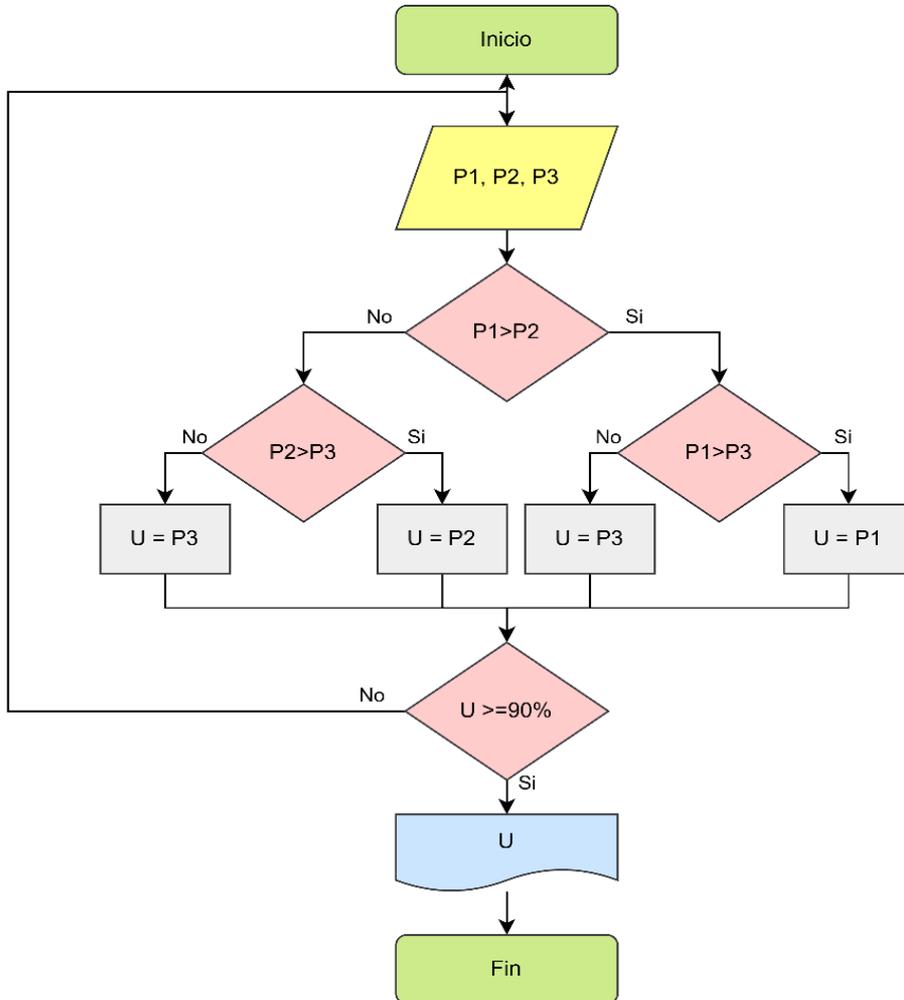
$$Neuronas_{Entrada} = 256$$



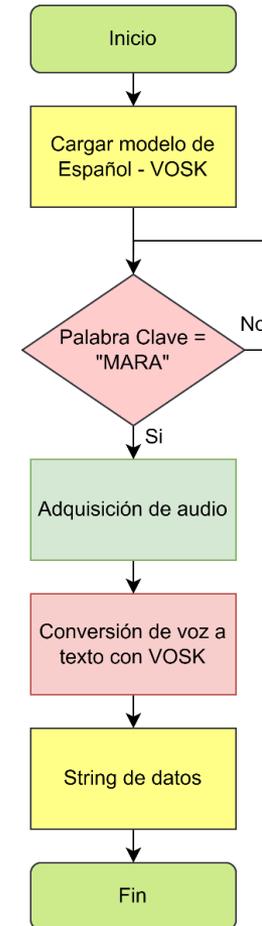
## Arquitectura de la red neuronal



## Umbral de probabilidad



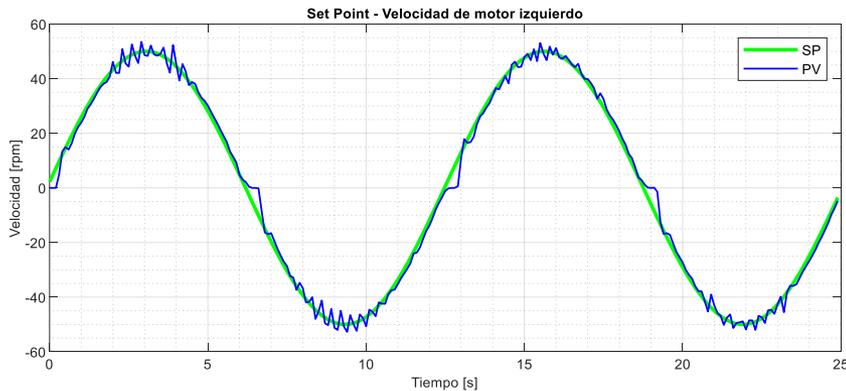
## Conversión de Voz a texto



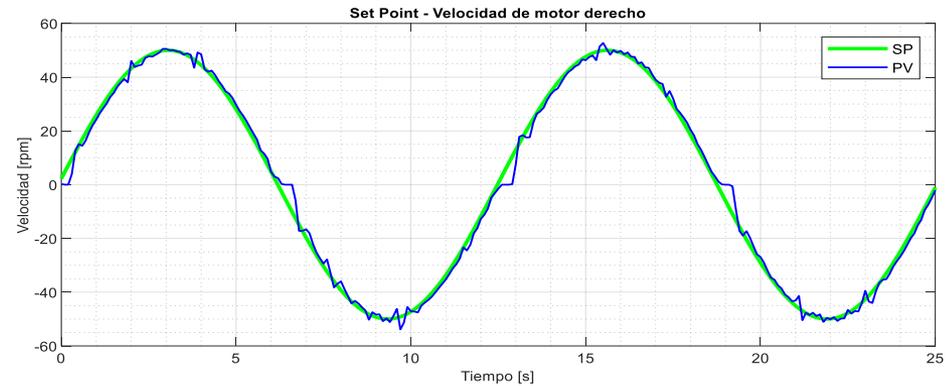
## Sistema de control

### Control de seguimiento de velocidad PID Discreto

$$\omega_{ref} = 50 \sin\left(\frac{t}{2}\right)$$



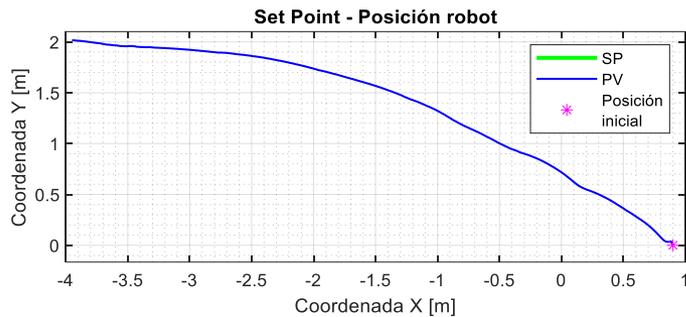
Motor izquierdo



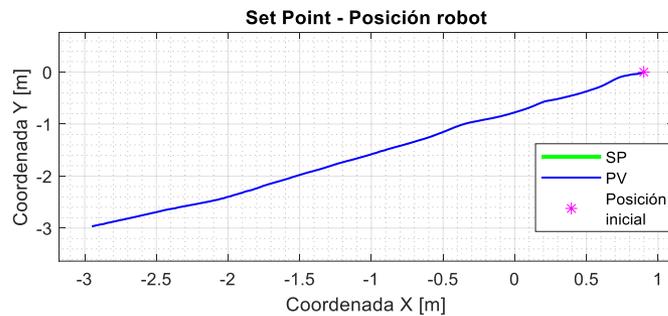
Motor derecho

## Sistema de control

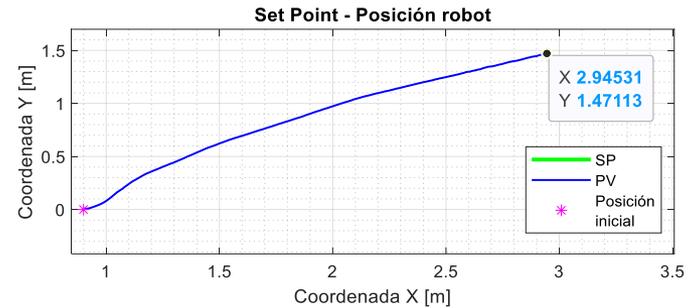
### Control de regulación de posición



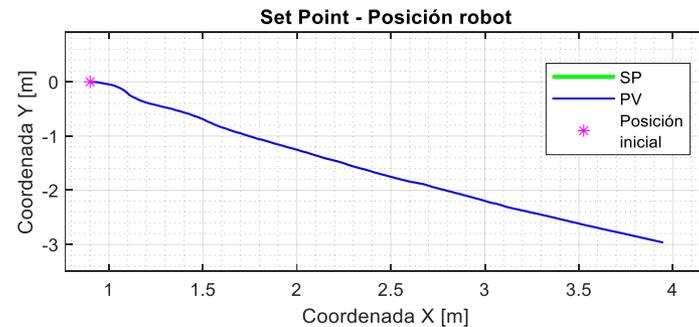
2do cuadrante



3er cuadrante



1er cuadrante



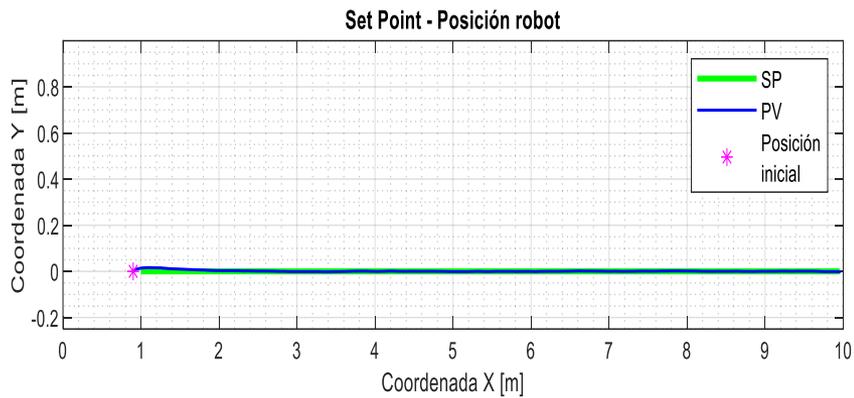
4to cuadrante



## Sistema de control

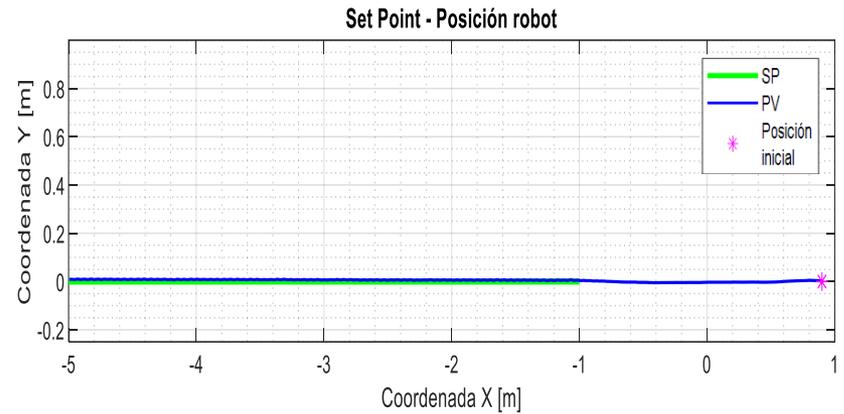
### Control de seguimiento de camino

$$\begin{aligned}x_r &= t \\y_r &= 0\end{aligned}$$



Adelante

$$\begin{aligned}x_r &= -t \\y_r &= 0\end{aligned}$$

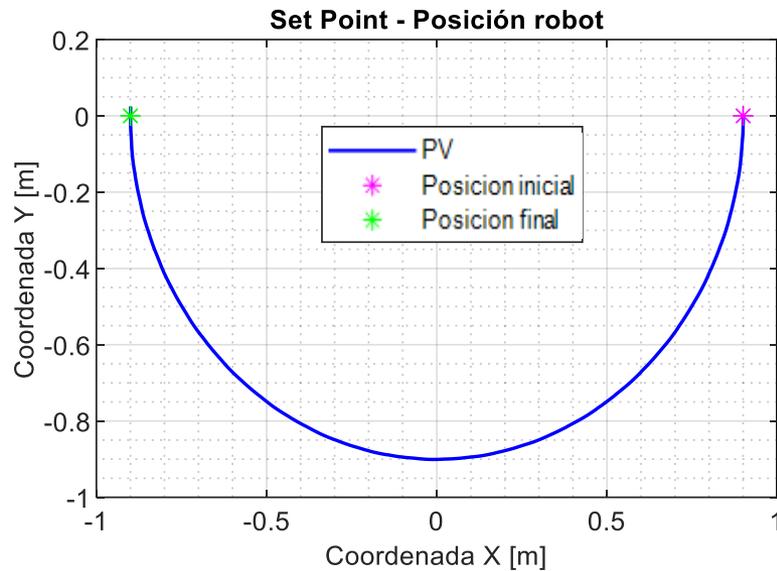


Retro

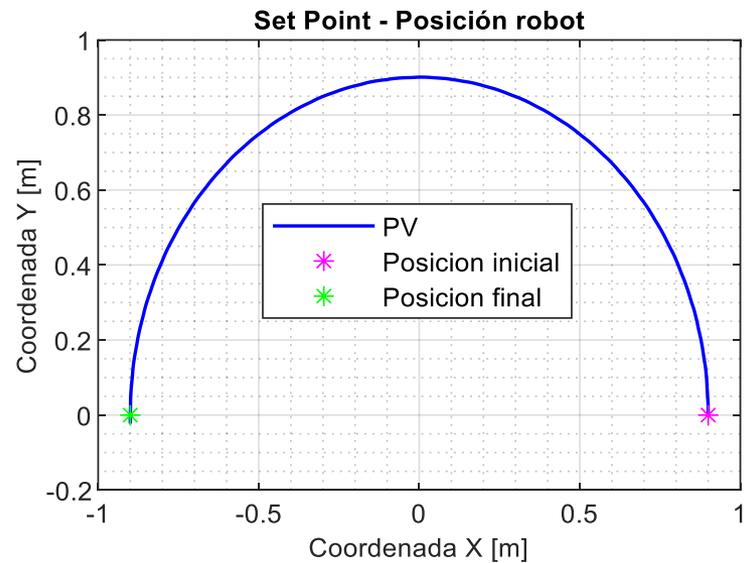


## Sistema de control

### Control de regulación orientación



Giro a la derecha



Giro a la izquierda

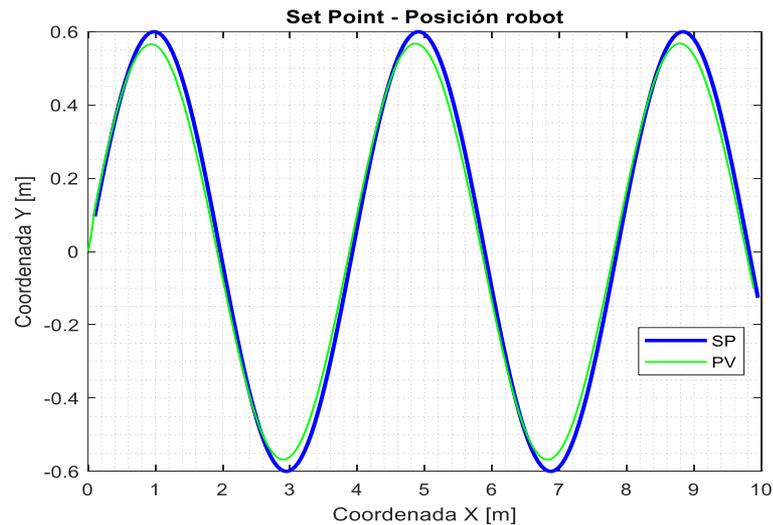
## Sistema de control

### Control de seguimiento de trayectoria

#### Trayectoria Senoidal

$$x_r = 0.5t$$

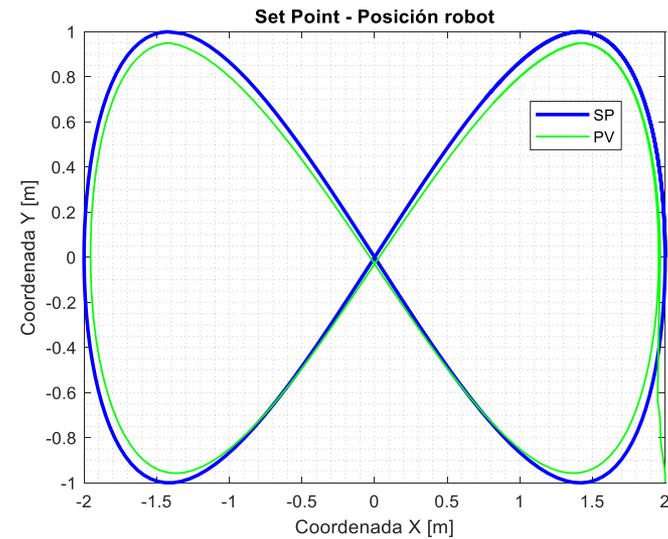
$$y_r = 0.6 \sin(0.8t)$$



#### Infinito

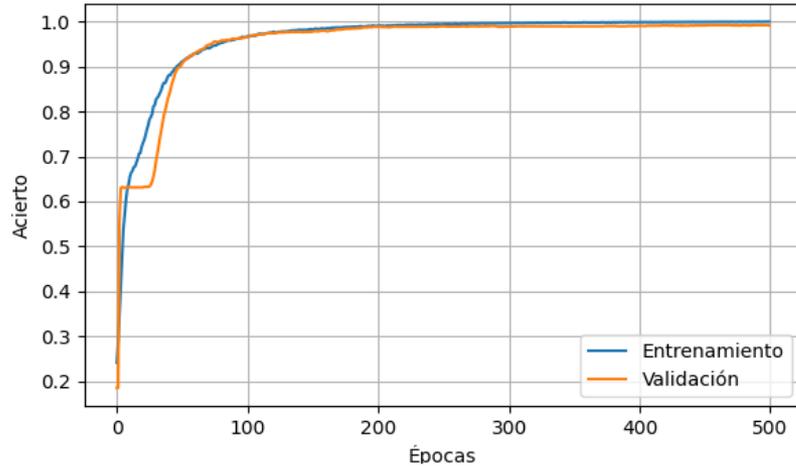
$$x_r = 2 \cos(0.5t)$$

$$y_r = \sin(t)$$

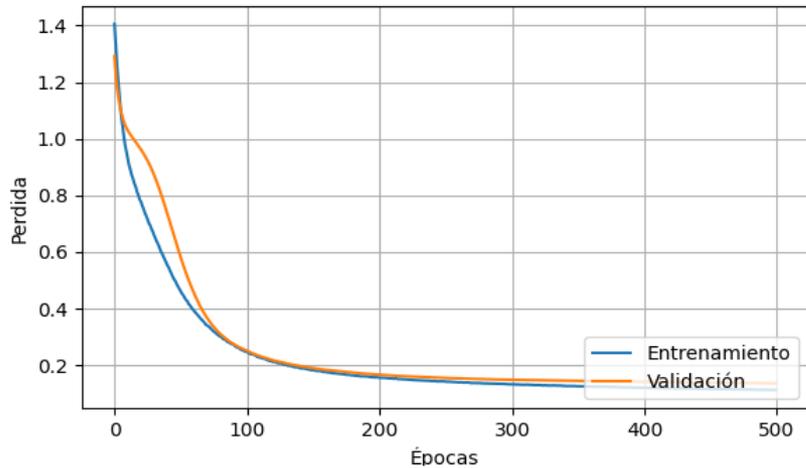


## Entrenamiento de la de la inteligencia Artificial

Accuracy evaluation



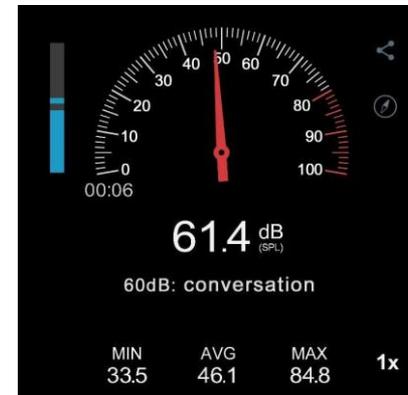
Loss evaluation



Amplitud sonora en condiciones normales



Amplitud sonora con de la voz



## Matriz de confusión

a) Matriz de confusión con el conjunto de datos de prueba

|                       |                       |               |               |                |                           |
|-----------------------|-----------------------|---------------|---------------|----------------|---------------------------|
| Categorías Verdaderas | MARA                  | 301<br>18.81% | 0<br>0.00%    | 0<br>0.00%     | 100.00%                   |
|                       | DETENTE               | 0<br>0.00%    | 288<br>18.00% | 0<br>0.00%     | 100.00%                   |
|                       | VACÍO                 | 0<br>0.00%    | 1<br>0.06%    | 1010<br>63.12% | 99.90%                    |
|                       |                       | 100.00%       | 99.65%        | 100.00%        | <b>Acierto<br/>99.93%</b> |
|                       | MARA                  | DETENTE       | VACÍO         |                |                           |
|                       | Categorías Predecidas |               |               |                |                           |

b) Matriz de confusión con el conjunto de datos de validación

|                       |                       |               |               |                |                            |
|-----------------------|-----------------------|---------------|---------------|----------------|----------------------------|
| Categorías Verdaderas | MARA                  | 287<br>17.93% | 0<br>0.00%    | 0<br>0.00%     | 100.00%                    |
|                       | DETENTE               | 0<br>0.00%    | 303<br>18.93% | 0<br>0.00%     | 100.00%                    |
|                       | VACÍO                 | 0<br>0.00%    | 0<br>0.00%    | 1010<br>63.12% | 100.00%                    |
|                       |                       | 100.00%       | 100.00%       | 100.00%        | <b>Acierto<br/>100.00%</b> |
|                       | MARA                  | DETENTE       | VACÍO         |                |                            |
|                       | Categorías Predecidas |               |               |                |                            |



## Ensayos de reconocimiento de la palabra clave

| Rangos de presión sonora [dB] | Aciertos de la categoría "MARA" | Aciertos de la categoría "Detente" | Aciertos de la categoría "Vacío" | Porcentaje de acierto | Porcentaje de error |
|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------|
| 30-40                         | 50                              | 50                                 | 50                               | 100.00%               | 0.00%               |
| 40-50                         | 49                              | 50                                 | 50                               | 99.33%                | 0.66%               |
| 50-60                         | 47                              | 48                                 | 50                               | 96.66%                | 3.33%               |
| 60-70                         | 41                              | 43                                 | 40                               | 82.66%                | 17.33%              |



## Conversión de voz a texto

| Comando de voz       | Número de ensayos | Iteraciones asertivas | Porcentaje de acierto | Porcentaje de error |
|----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Girar a la derecha   | 50                | 47                    | 94%                   | 6%                  |
| Girar a la izquierda | 50                | 47                    | 94%                   | 6%                  |
| Hacia el frente      | 50                | 48                    | 96%                   | 4%                  |
| Hacia atrás          | 50                | 46                    | 92%                   | 8%                  |
| Coordenadas XY       | 50                | 45                    | 90%                   | 10%                 |
| Información          | 50                | 46                    | 92%                   | 8%                  |
| Hola                 | 50                | 46                    | 92%                   | 8%                  |
| Apágate              | 50                | 45                    | 90%                   | 10%                 |
| Reiníciate           | 50                | 46                    | 92%                   | 8%                  |



## Conclusiones

- Se diseñó y construyó una silla de ruedas inteligente con un sistema embebido que permite aislar los comandos de voz y convertirlos en valores deseados para el controlador robótico mediante la cinemática móvil de un robot diferencial para contribuir en la autonomía móvil de una persona tetrapléjica.
- La investigación de los trabajos relacionados con robótica asistencial para personas con discapacidad física permitió figurar la propuesta de diseño, la cual consiste en un equipo robótico que permite generar movilidad autónoma mediante la implementación de un sistema de reconocimiento de voz, lo que aprovecha las facultades mentales y lingüísticas de una persona tetrapléjica.
- Se investigó los parámetros de diseño a partir de las limitaciones físicas de personas con tetraplejía y como la robótica asistencial en combinación de equipos mecatrónicos puede subsanar las dificultades motrices para mejorar la calidad de vida física y emocional de las personas con discapacidad.



# Conclusiones y recomendaciones

- Se diseñó el sistema mecánico de la silla de ruedas en base a las medidas antropométricos del usuario y la normativa ISO 7176-5 para definir las dimensiones externas del equipo, en donde se selecciona el material de acuerdo con los cálculos mecánicos con un factor de seguridad superior 2 y se establece zonas seguras contra el volcamiento a partir de un análisis estático en planos inclinados.
- Los elementos seleccionados para la implementación del circuito eléctrico de control y de potencia, como el dimensionamiento de motores y la selección de controladores permitieron generar los movimientos básicos que permiten dar autonomía móvil a una persona tetrapléjica. La selección de dispositivos embebidos posibilitó construir una arquitectura distribuida para el reconocimiento de voz y la ejecución del algoritmo de control.
- El sistema de control basado en el comportamiento inverso de la planta permitió ejecutar movimientos automáticos y controlados mediante la implementación de un algoritmo de control de regulación, para posicionamiento de la silla en un punto específico en el plano y para regulación de orientación; y un algoritmo de seguimiento de camino, el cual permite seguir trayectorias predefinidas y con ello, asegurar que la silla de seguimiento a tramos rectilíneos en movimientos longitudinales de forma automática y estable.



# Conclusiones y recomendaciones

- Se desarrolló el sistema de reconocimiento de voz con dos niveles, el primero permite la activación por medio de una palabra clave mediante la conversión del sonido a coeficientes cepstrales de frecuencias Mel a través de un interfaz de adquisición de audio, entrenamiento y exportación de un modelo de inteligencia artificial, la segunda etapa es la conversión de voz a texto que busca los comandos de movimiento por medio de kit de herramientas de VOSK y que permite la interacción del paciente con la silla de ruedas.
- Las pruebas experimentales permitieron evidenciar la asistencia que representa el prototipo en la movilidad autónoma de un paciente con tetraplejia, el cual califica el desempeño de la silla de ruedas inteligente como una experiencia segura, estable y funcional que le permite recuperar gran parte de su movilidad autónoma al comandar los movimientos por medio de una interfaz de voz e independizándose de una tercera persona para trasladarse.



## Recomendaciones

- Al trabajar con motores de corriente continua se recomienda controlarlos con una frecuencia de ciclo de trabajo superior al 10 KHz ya que valores inferiores generan un sonido audible al oído humano incómodo.
- El sistema de localización del robot se basa en el conteo de pulsos del encoder, el cual no distingue deslizamiento y tampoco considera superficies desniveladas, por lo que la estimación de posición es eficiente solo en superficies planas, por tal motivo es importante considerar otro tipo de sensores para estimar la posición, como unidades de medición inercial o acelerómetros.
- En la implementación de un algoritmo de inteligencia artificial es necesario conectar TensorFlow con la tarjeta gráfica mediante la instalación de los drivers de Nvidia, las herramientas de CUDA y cuDNN para aumentar la velocidad de procesamiento durante el entrenamiento de la red neuronal.



# Conclusiones y recomendaciones

- Es importante verificar que al tener una función de activación Softmax a la salida de una red neuronal, la gráfica resultante del nivel de acierto de las funciones de validación y entrenamiento deben converger a 1 de forma unánime para garantizar que el modelo sea correcto y no se evidencie presencia de sobre entrenamiento (Overfitting).
- La silla de ruedas inteligente permite dar autonomía móvil al ser desarrollada para un usuario con tetraplejía, pero es de suma importancia que el uso del equipo sea supervisado por una persona y/o familiar para evitar comprometer la integridad física y/o patrimonial.



# Mecatrónica Aplicada a la Robótica Asistencial (M.A.R.A.)



Sin importar lo mala que pueda ser la vida, siempre hay algo que puedes hacer y en lo que puedes ser exitoso; mientras haya vida, hay esperanza.

*~Stephen Hawking*



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# GRACIAS



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA