

# MODELADO, SIMULACIÓN, CONTROL E IMPLEMENTACIÓN DE ROBOTS MÓVILES TIPO VELOCISTAS

Docente:

MSc. Ing. Jeison Tacué González



Universidad  
del Cauca

# MODELADO, SIMULACIÓN, CONTROL E IMPLEMENTACIÓN DE ROBOTS MÓVILES TIPO VELOCISTAS

Contenido:

1. Motivación
2. Conceptos fundamentales
3. Cinemática de un robot diferencial
4. Simulación de un robot diferencial
5. Diseño electrónico
6. Modelado 3D
7. Control
8. Implementación

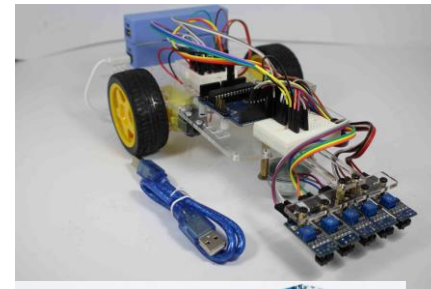
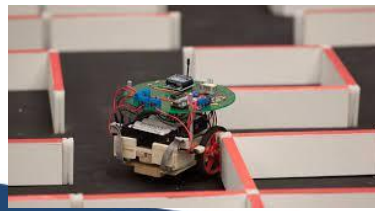
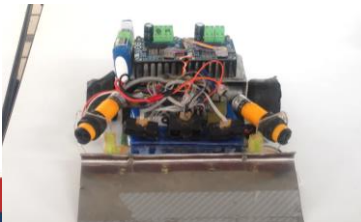


Universidad  
del Cauca

# MODELADO, SIMULACIÓN, CONTROL E IMPLEMENTACIÓN DE ROBOTS MÓVILES TIPO VELOCISTAS

## Torneo de robótica

Es un evento competitivo donde equipos, clubes, semilleros se reúnen en torno a Competencias de robots, los cuales deben vencer a otros robots en sus diferentes disciplinas para convertirse en campeones. Los grupos están conformados por entusiastas apasionados por la robótica y sus ciencias relacionadas.



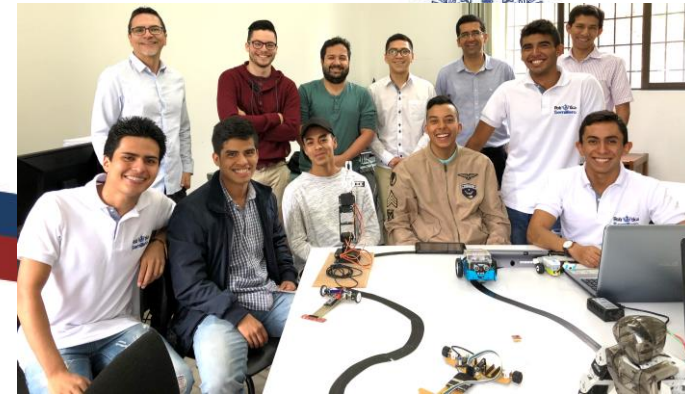
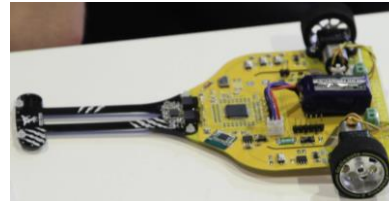
Universidad  
del Cauca

# MODELADO, SIMULACIÓN, CONTROL E IMPLEMENTACIÓN DE ROBOTS MÓVILES TIPO VELOCISTAS

## Motivación

- ✓ Amistad
- ✓ Interés personal
- ✓ Trabajo en equipo
- ✓ Comunicación
- ✓ Potenciar habilidades STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas)
- ✓ Clubes, semilleros, equipos.

- ✓ Mecánica
- ✓ Electrónica
- ✓ Programación
- ✓ Robótica



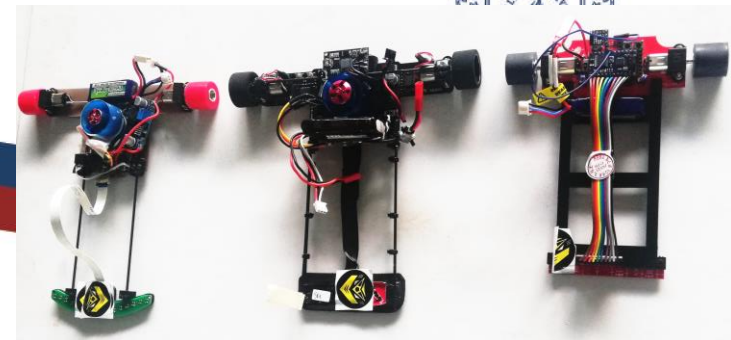


# MODELADO, SIMULACIÓN, CONTROL E IMPLEMENTACIÓN DE ROBOTS MÓVILES TIPO VELOCISTAS

## Motivación

- ✓ Amistad
- ✓ Interés personal
- ✓ Trabajo en equipo
- ✓ Comunicación
- ✓ Potenciar habilidades STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas)
- ✓ Clubes, semilleros, equipos.

- ✓ Mecánica
- ✓ Electrónica
- ✓ Programación
- ✓ Robótica

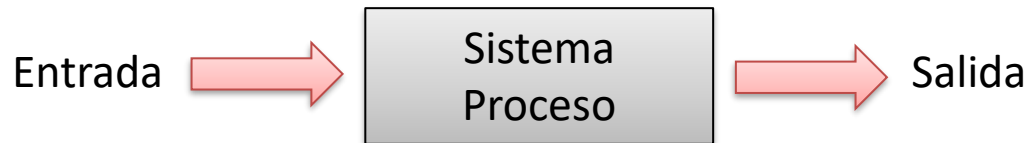


# SISTEMA ROBÓTICOS EN INGENIERÍA

## Sistema

Un sistema es un conjunto de elementos o partes funcionales que se conectan entre sí, porque han sido diseñados con un objetivo común.

Los sistemas pueden tener elementos de diferente tipo; eléctricos, electrónicos, hidráulicos, mecánicos, neumáticos.



Universidad  
del Cauca

# SISTEMA ROBÓTICOS EN INGENIERÍA

## Modelo Matemático de un Sistema

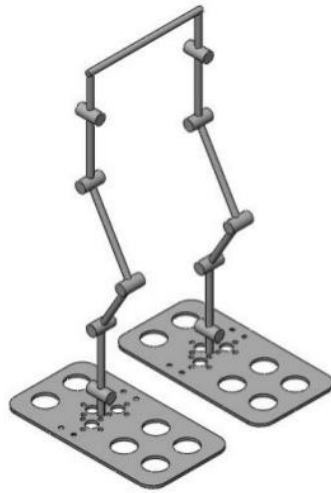
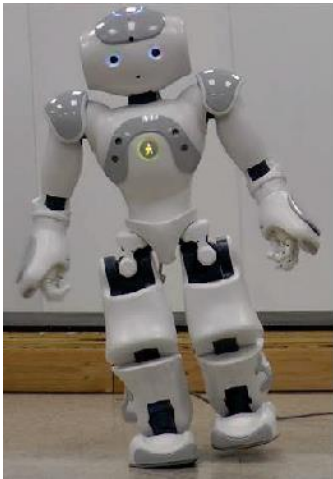
Es la expresión matemática por medio de ecuaciones diferenciales que describe el comportamiento dinámico de un sistema. Se usan para estudiar la relación entre los elementos del sistema. Son base para el análisis y diseño de sistemas de control automático, en todas las áreas tecnológicas que rodean al ser humano; industria, medicina, deporte, servicios, milicia..



Universidad  
del Cauca

# SISTEMA ROBÓTICOS EN INGENIERÍA

## Sistema



$$p(t) = x(t) - \frac{Zc}{g} * \ddot{x}(t)$$

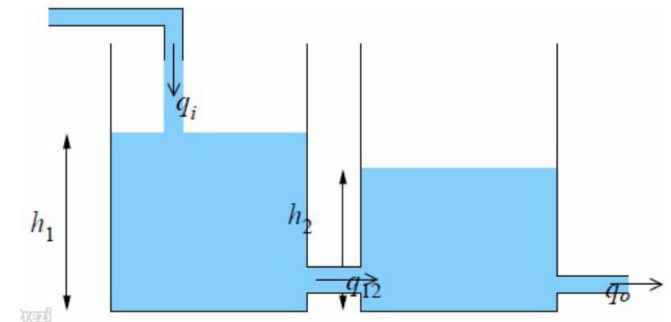


$$\frac{dh1}{dt} = \frac{1}{A} q_i - \frac{1}{A} q_{12}$$

$$\frac{dh2}{dt} = \frac{1}{A} q_{12} - \frac{1}{A} q_o$$

$$q_{12} = Kd\sqrt{(h1 - h2)}$$

$$q_o = kd\sqrt{h2}$$

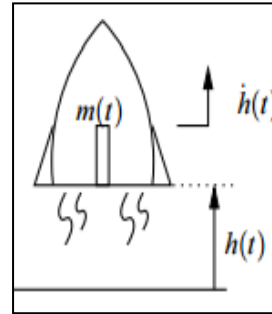


Universidad  
del Cauca



# SISTEMA ROBÓTICOS EN INGENIERÍA

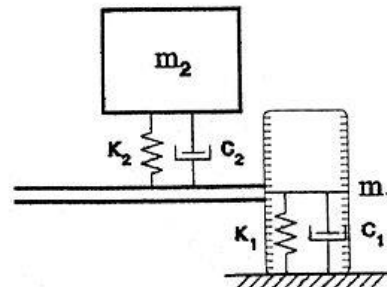
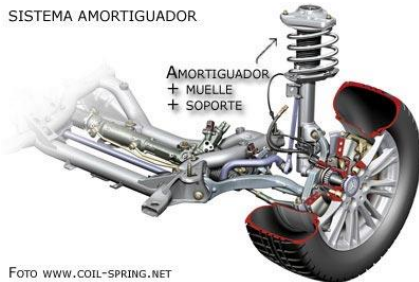
## Sistema



$$Mn \frac{d^2 h}{dt} = - \frac{Mn * g}{h} + Mc * Ap - \frac{B * dh}{dt}$$

$$\frac{dMc}{dt} = Ve * \ln(Mc) - Qi$$

SISTEMA AMORTIGUADOR

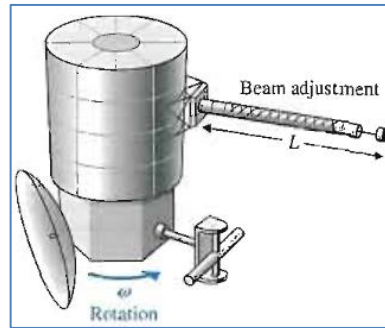


$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{k_2}{m} & -\frac{c_2}{m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{b}{m} \\ k_1 - \left(\frac{b}{m}\right)^2 \end{bmatrix} u$$

Universidad  
del Cauca

# SISTEMA ROBÓTICOS EN INGENIERÍA

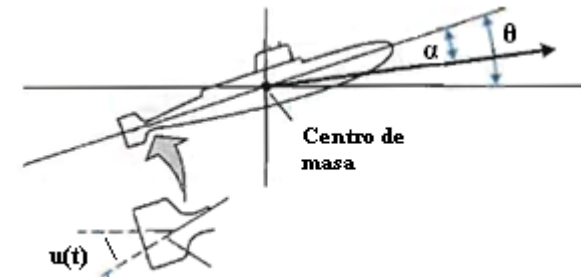
Sistema



$$\frac{w(s)}{L(s)} = \frac{2.5(s + 2)e^{-0.1s}}{s(s + 4) + 5}$$



$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -0.0071 & -0.111 & 0.12 \\ 0 & 0.07 & -0.3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -0.095 \\ 0.072 \end{bmatrix} u(t)$$



Universidad  
del Cauca

# SIMULACION DE SISTEMAS

## Simulación por Computador

El objetivo consiste en dar el **soporte** necesario al ingeniero durante el proceso de **diseño, análisis y diagnóstico** de sistemas ingenieriles, dejando a la luz fallos, mejoras o buen funcionamiento. El software debe **complementar el talento** del diseñador para que éste pueda modelar y simular de forma lo mas eficientemente posible (real).

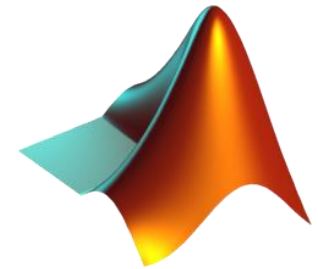
El software hace posible establecer una valoración final antes de que los sistemas sean construidos, y pueden aliviar la necesidad de **experimentos caros** y dar soporte a todas las etapas de un proyecto.



Universidad  
del Cauca

# SIMULACION DE SISTEMAS

**MATLAB → MATriz LABoratory**



Desarrollado por la compañía MathWorks Inc.

Es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows, Mac y GNU/Linux.



Universidad  
del Cauca

# SIMULACION DE SISTEMAS

Matlab

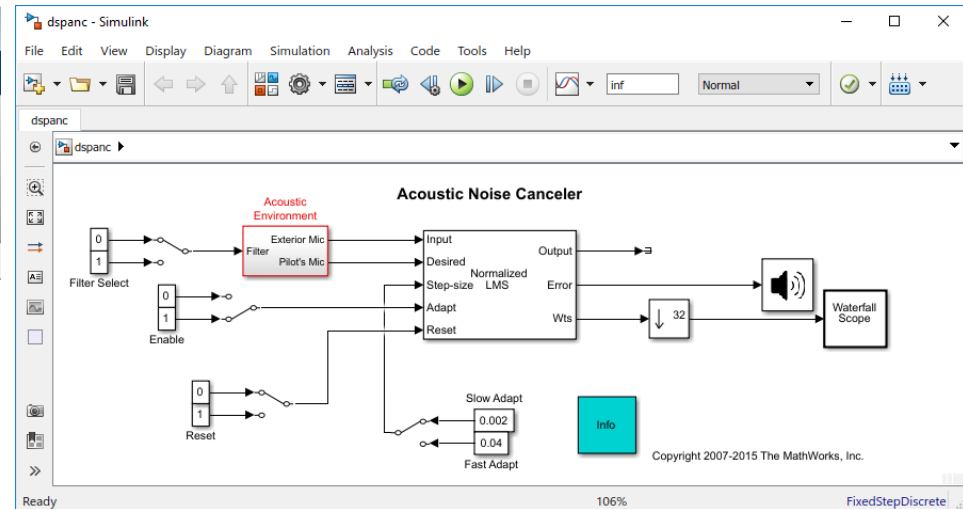
Editor.m

```

1  if abs(a) > sqrt(2)
2      and is(x, Type::Real) = TRUE then
3      error("invalid parameter a")
4      //no real solutions
5  else
6      solve(sin(x) + cos(x) = a, x, PrincipalValue)
7  end_if
8

```

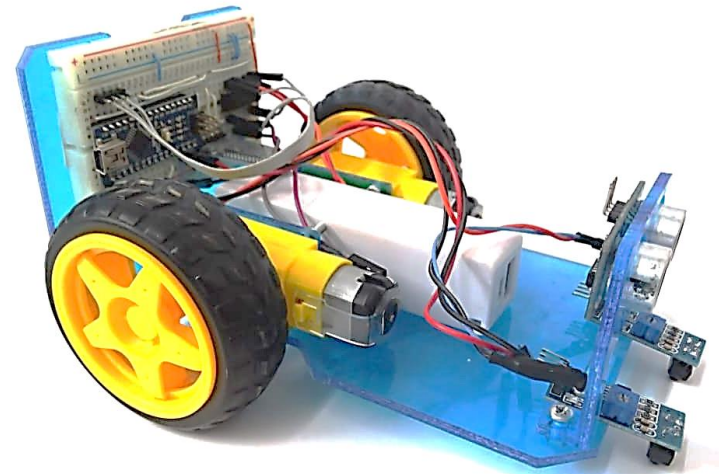
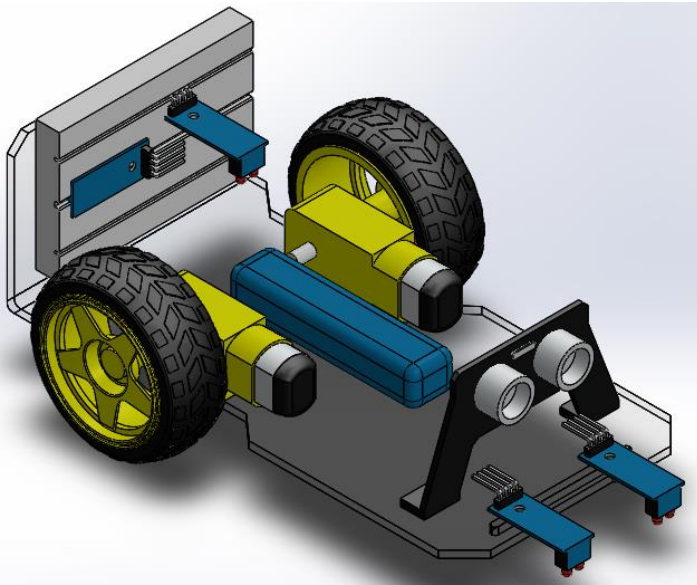
Simulink





# Robot Móvil

Robot móvil tipo diferencial



# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

## Cinemática de robots

Es la técnica que estudia el movimiento de los robots, es decir, posición, desplazamiento y velocidad. La cinemática no considera las fuerzas que originan el movimiento, tampoco considera el peso, ni los coeficientes de fricción, ni la gravedad. Se limita principalmente, al estudio de la trayectoria que describe el robot en el espacio a través del tiempo. Para esto utiliza velocidades, aceleraciones y la geometría del robot.




Universidad  
del Cauca

# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

## Tipos de cinemática de robots

### Cinemática DIRECTA

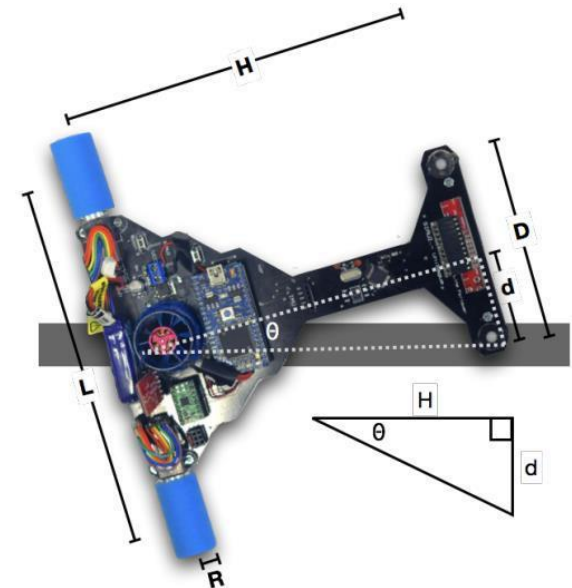
Permite obtener la posición y la orientación del robot en función de las velocidades y posiciones de las ruedas

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ \gamma \end{bmatrix} = f_D \left( \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \dots \\ \omega_N \end{bmatrix} \right)$$


### Cinemática INVERSA

Permite obtener las velocidades y posiciones de las ruedas que hacen que la posición y orientación del robot sea la deseada.

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \dots \\ \omega_N \end{bmatrix} = f_I \left( \begin{bmatrix} x \\ y \\ \gamma \end{bmatrix} \right)$$

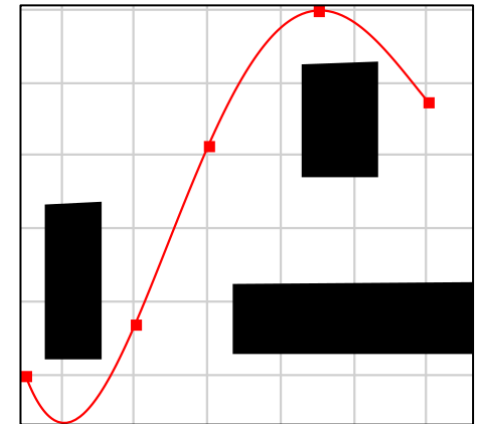


# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

## Tipos de cinemática de robots

La cinemática directa de un robot móvil permite estimar dónde se encontrará tras un cierto tiempo en función de las velocidades de las ruedas

La cinemática inversa de un robot permite generar velocidades en las ruedas para alcanzar una localización deseada



Universidad  
del Cauca

# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

## Consideraciones

- El robot se mueve por una superficie plana
- Estructura rígida: No existen elementos flexibles (ni en ruedas)
- No existen fricciones
- No existen deslizamientos



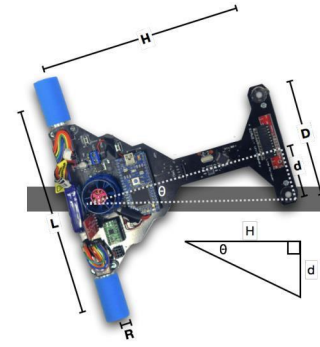
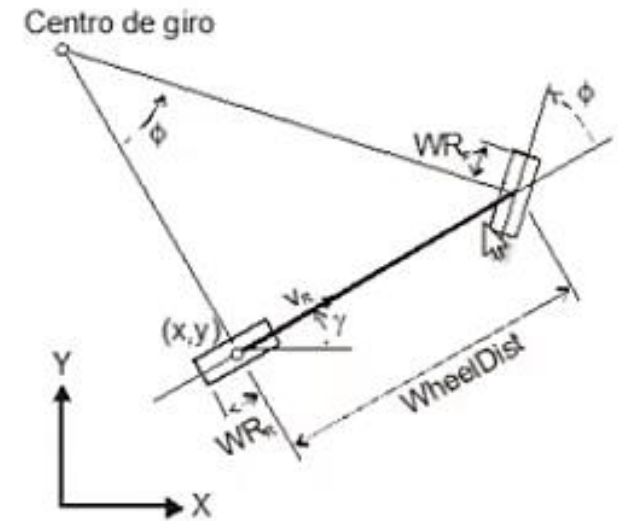
Universidad  
del Cauca



# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

## Tipos de configuraciones de robots

- Diferencial (2 ruedas motrices paralelas)
- Bicicleta
- Triciclo (diferentes tipos)
- Coche con geometría de Ackermann

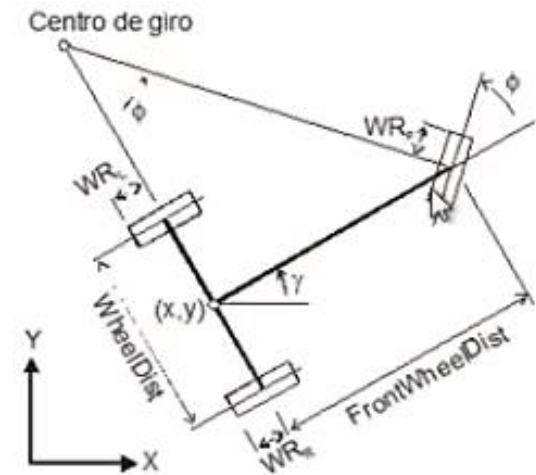


Universidad  
del Cauca

# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

## Tipos de configuraciones de robots

- Diferencial (2 ruedas motrices paralelas)
- Bicicleta
- Triciclo (diferentes tipos)
- Coche con geometría de Ackermann

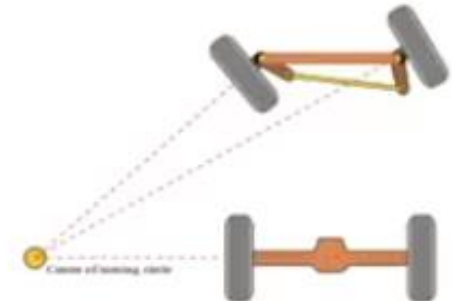
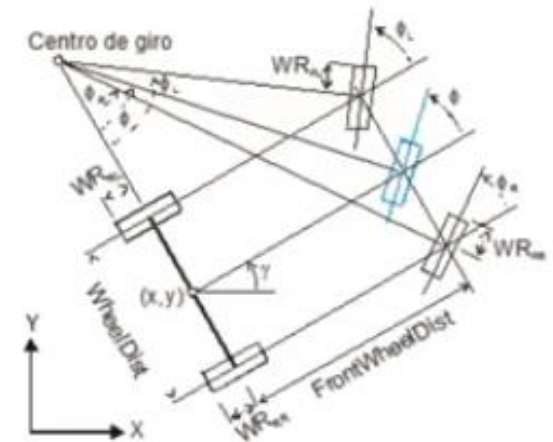


Universidad  
del Cauca

# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

## Tipos de configuraciones de robots

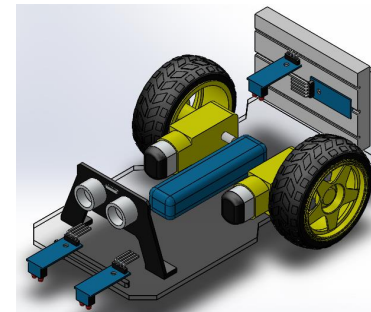
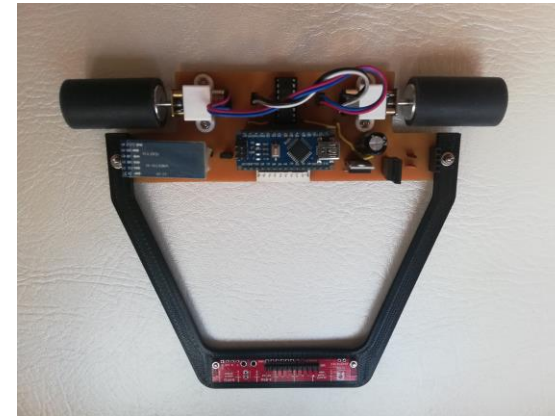
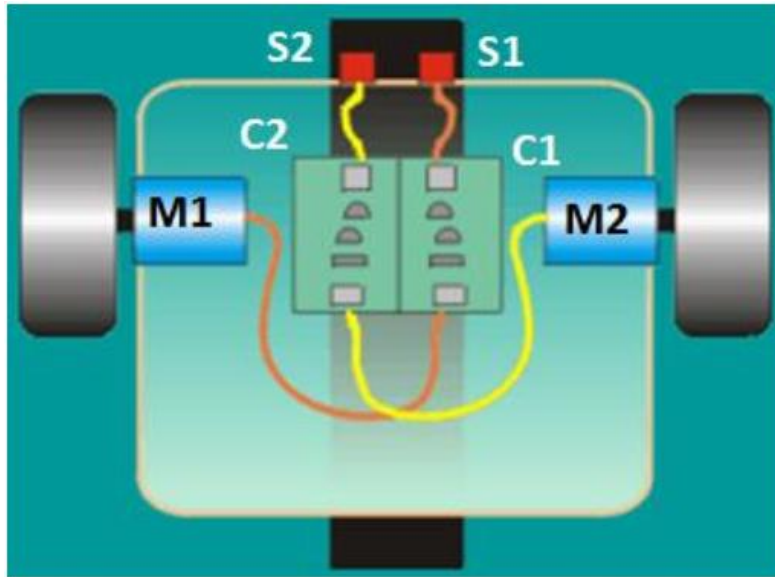
- Diferencial (2 ruedas motrices paralelas)
- Bicicleta
- Triciclo (diferentes tipos)
- Coche con geometría de Ackermann



Universidad  
del Cauca

# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

## Robot móvil tipo diferencial

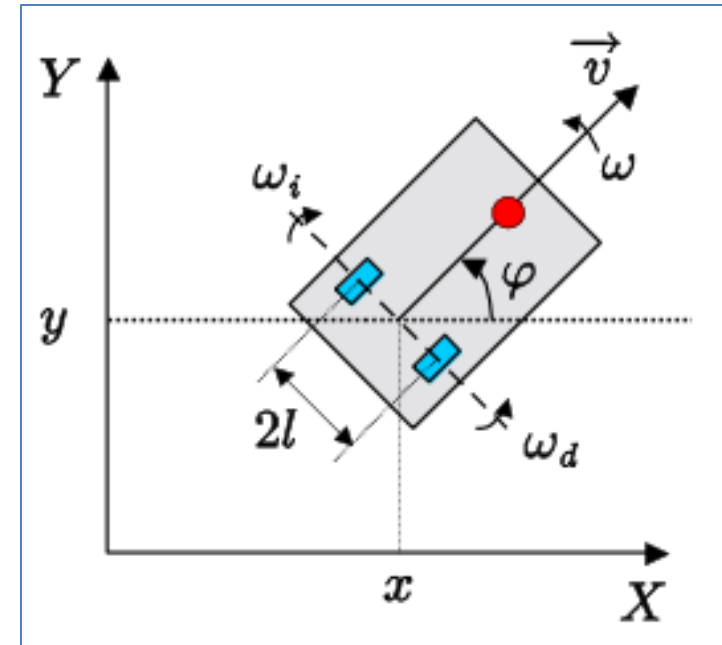


Universidad  
del Cauca

# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

## Robot móvil tipo diferencial

- ✓ Plano de movimiento  $(X,Y)$
- ✓ Ubicación del eje del robot  $(x,y)$
- ✓ Angulo de rotación sobre su propio eje  $\phi$
- ✓ Velocidad de rotación  $w$
- ✓ Velocidad de giro de las llantas  $W_i, W_d$
- ✓ Longitud entre ruedas  $2L$
- ✓ Velocidad de avance del robot  $V$



Universidad  
del Cauca

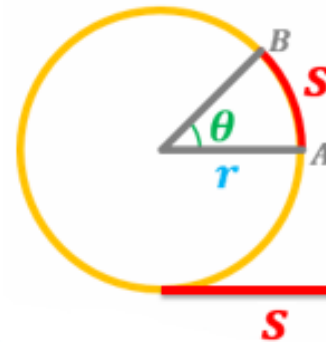


# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

## Robot móvil tipo diferencial

- ✓ Radio de las llantas  $r$
- ✓ Arco o distancia recorrida por la llanta

$$S = r\theta$$



Universidad  
del Cauca

# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

## Robot móvil tipo diferencial

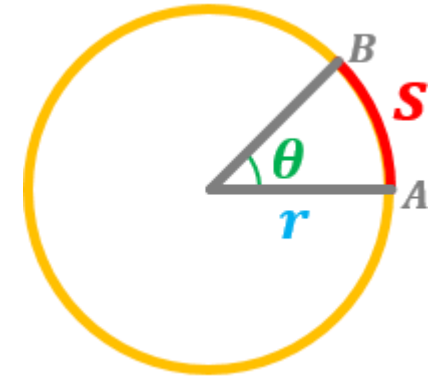
Velocidad lineal  $V$  y Velocidad angular  $W$

Velocidad lineal de avance de la llanta derecha

$$V_d = r * W_d$$

Velocidad lineal de avance de la llanta izquierda

$$V_i = r * W_i$$



Universidad  
del Cauca

# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

## Robot móvil tipo diferencial



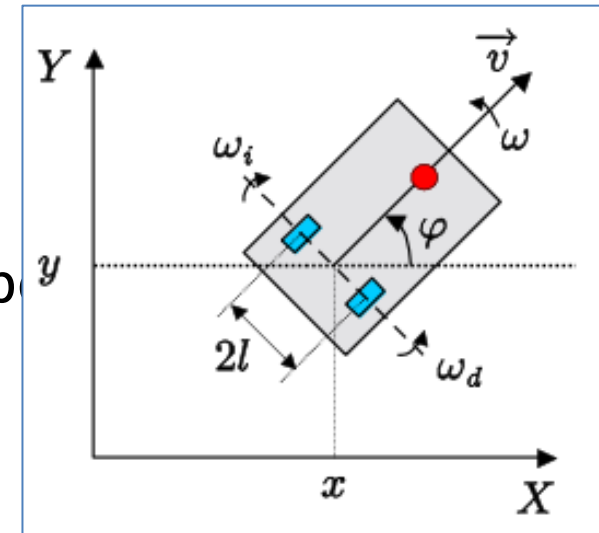
Velocidad avance llanta derecha e izquierda

$$V_d = r * \omega_d$$

$$V_i = r * \omega_i$$

Velocidad total instantánea de avance  $V$  del rob

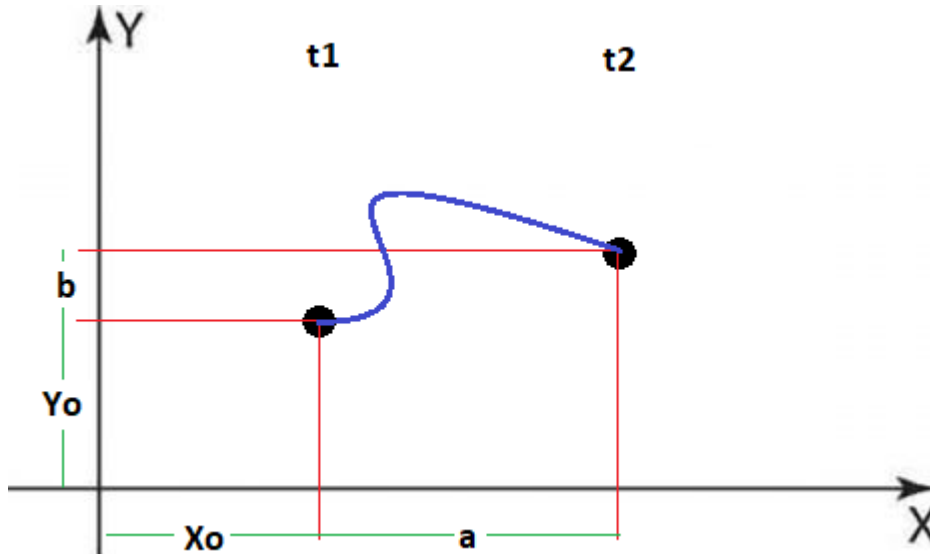
$$V = \frac{V_d + V_i}{2} = \frac{r}{2} * (\omega_d + \omega_i)$$



Universidad  
del Cauca

# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

Robot móvil tipo diferencial, posición (x,y)



$$X_{pos} = X_o + a$$

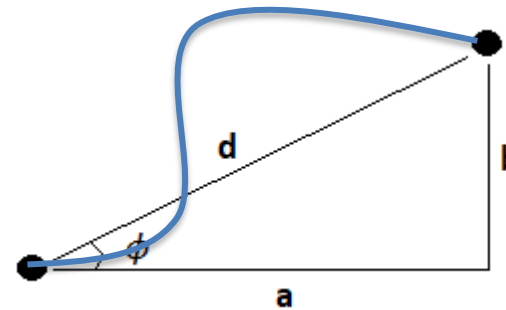
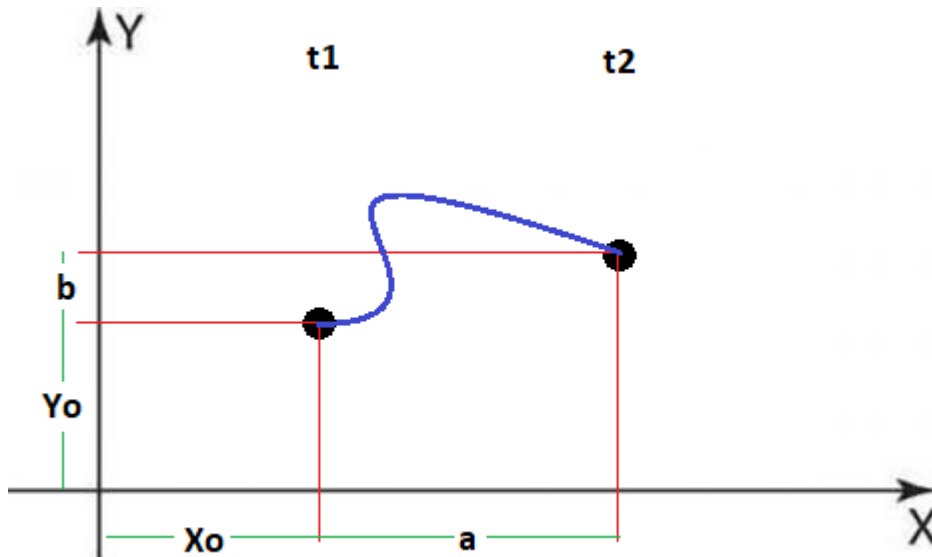
$$Y_{pos} = Y_o + b$$



Universidad  
del Cauca

# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

## Robot móvil tipo diferencial



$$a = d * \cos(\phi)$$

$$b = d * \sin(\phi)$$

$$velocidad V = \frac{distancia d}{tiempo t}$$

$$distancia d = velocidad V * tiempo t$$

$$V = \frac{Vd + Vi}{2}$$

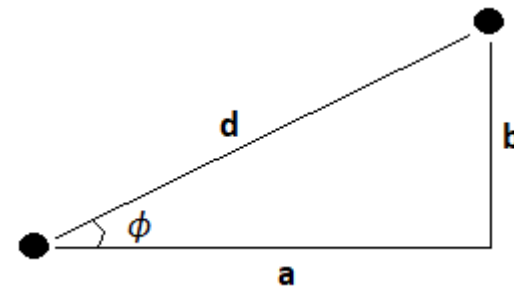
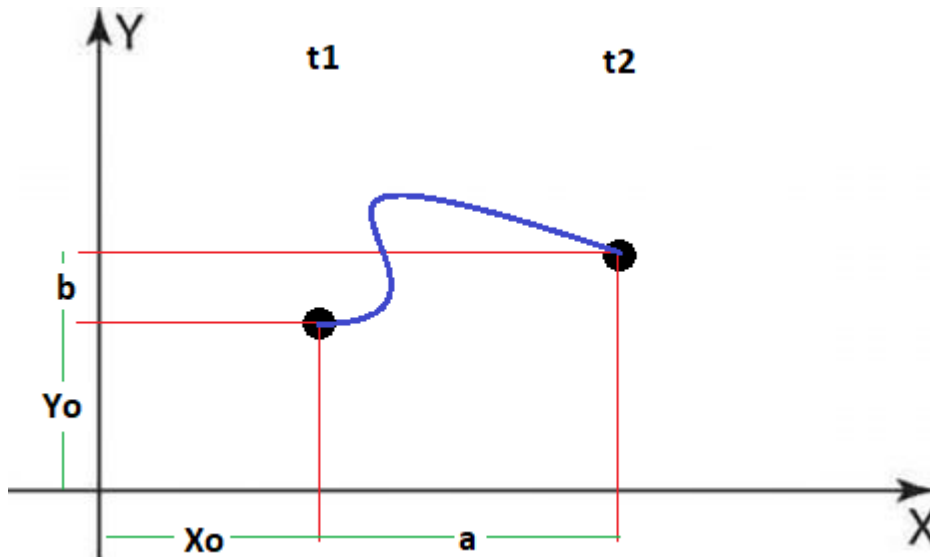


Universidad  
del Cauca



# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

## Robot móvil tipo diferencial



$$a = d * \cos(\phi)$$

$$b = d * \sin(\phi)$$

$$d = \frac{Vd + Vi}{2} * t$$

$$a = \frac{Vd + Vi}{2} * t * \cos(\phi)$$

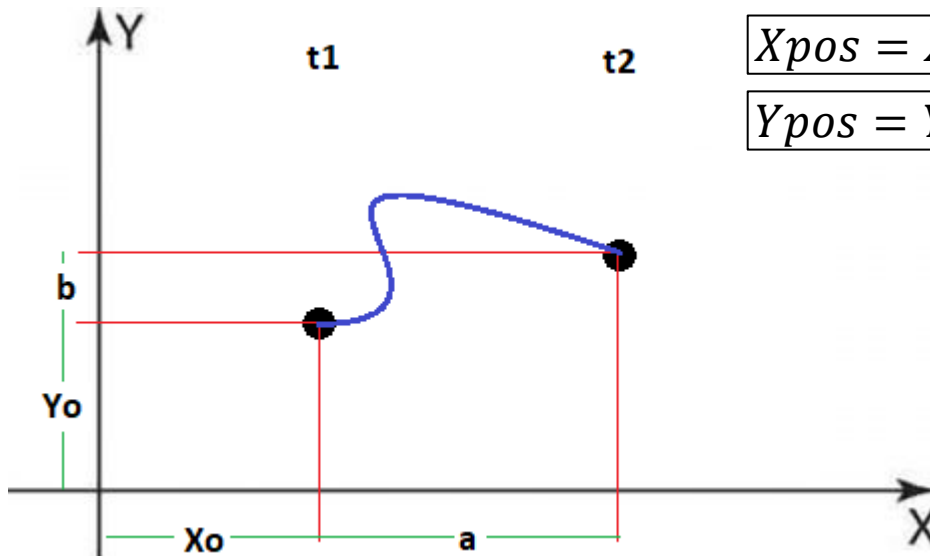
$$b = \frac{Vd + Vi}{2} * t * \sin(\phi)$$



Universidad  
del Cauca

# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

## Robot móvil tipo diferencial



$$X_{pos} = X_o + a$$

$$Y_{pos} = Y_o + b$$

$$a = \frac{V_d + V_i}{2} * t * \cos(\phi)$$

$$b = \frac{V_d + V_i}{2} * t * \sin(\phi)$$

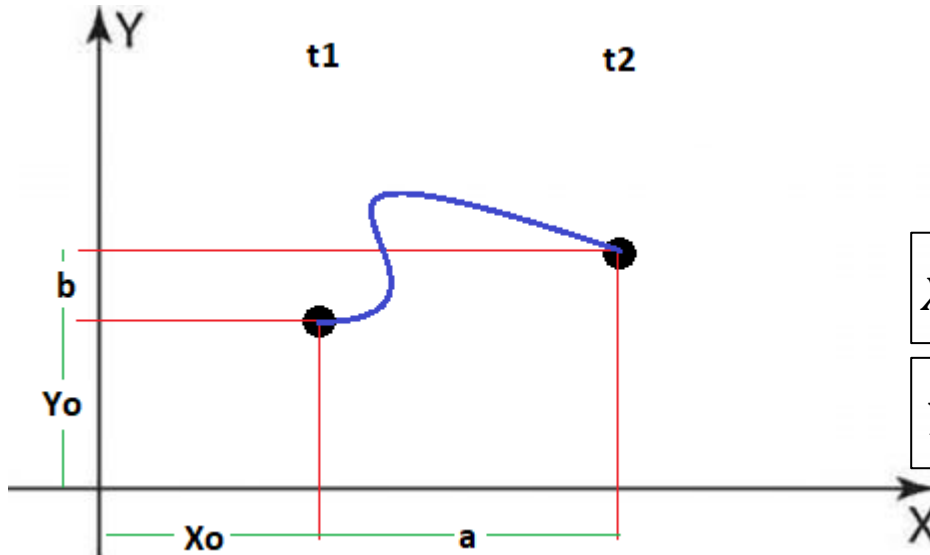
$$X_{pos} = X_o + \frac{V_d + V_i}{2} * t * \cos(\phi)$$

$$Y_{pos} = Y_o + \frac{V_d + V_i}{2} * t * \sin(\phi)$$



# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

## Robot móvil tipo diferencial



$$X_{pos} = X_o + \frac{V_d + V_i}{2} * t * \cos(\phi)$$

$$Y_{pos} = Y_o + \frac{V_d + V_i}{2} * t * \sin(\phi)$$

$$X_{pos} = X_o + \frac{r(W_d + W_i)}{2} * t * \cos(\phi)$$

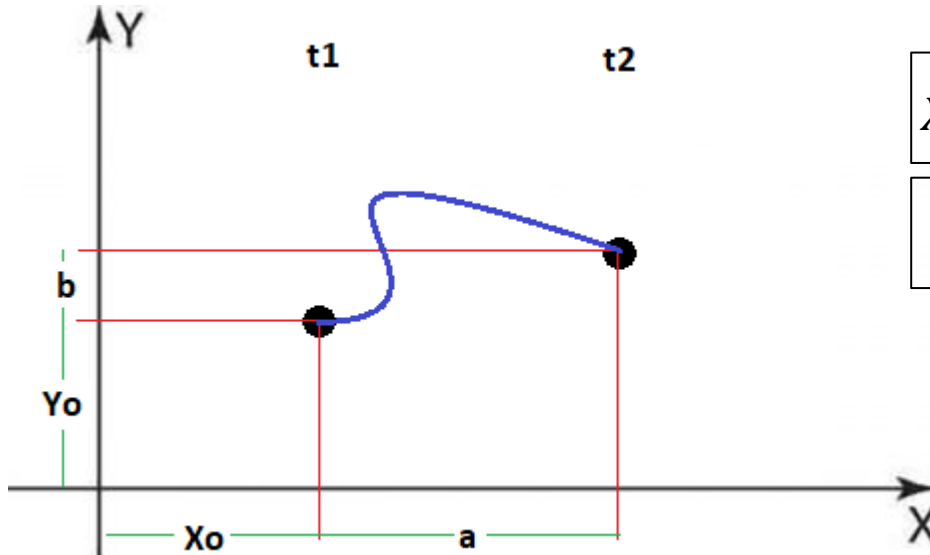
$$Y_{pos} = Y_o + \frac{r(W_d + W_i)}{2} * t * \sin(\phi)$$



Universidad  
del Cauca

# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

Robot móvil tipo diferencial, posición (x,y)



$$X = X_o + \frac{r(W_d + W_i)}{2} * t * \cos(\phi)$$

$$Y = Y_o + \frac{r(W_d + W_i)}{2} * t * \sin(\phi)$$

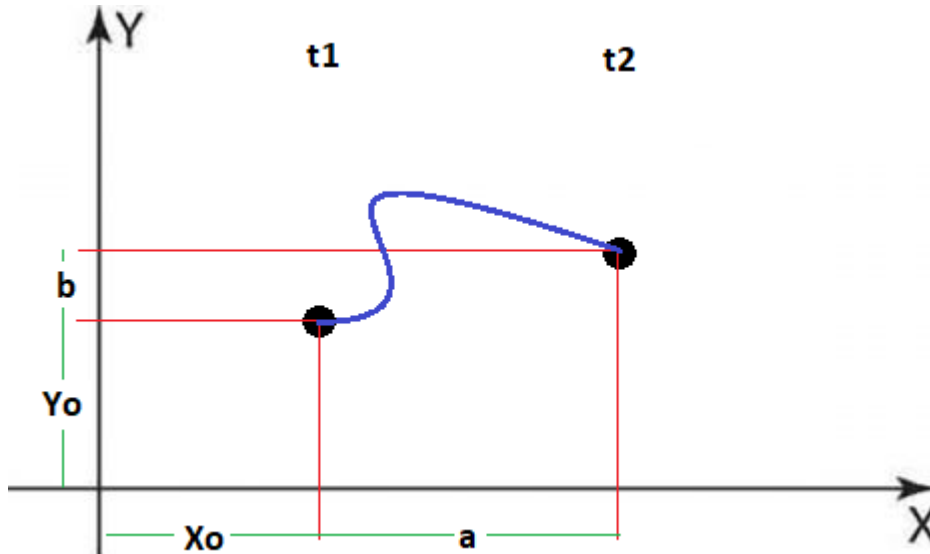
“Derivar respecto al tiempo”



Universidad  
del Cauca

# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

Robot móvil tipo diferencial, posición (x,y)



$$\dot{X} = \frac{r(Wd + Wi)}{2} * \cos(\phi)$$

$$\dot{Y} = \frac{r(Wd + Wi)}{2} * \sin(\phi)$$



Universidad  
del Cauca



# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

## Robot móvil tipo diferencial, orientación

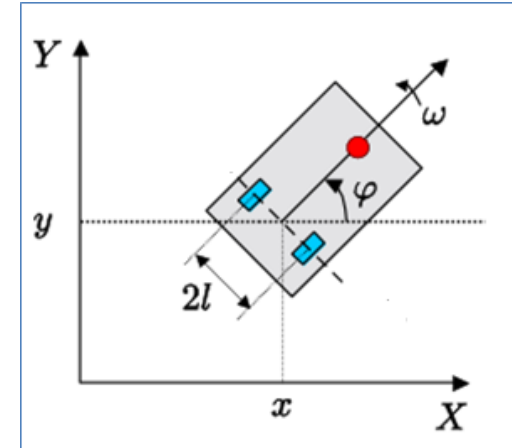
Velocidad angular del robot

$$W = \frac{Vr - Vi}{2L} = \frac{r(Wd - Wi)}{2L}$$

Posición angular del robot

$$\phi = \phi_o + W * t$$

$$\phi = \phi_o + \frac{r(Wd - Wi)}{2L} * t$$



“Derivar”



Universidad  
del Cauca

# MODELADO CINEMATICO DE ROBOTS MOVILES

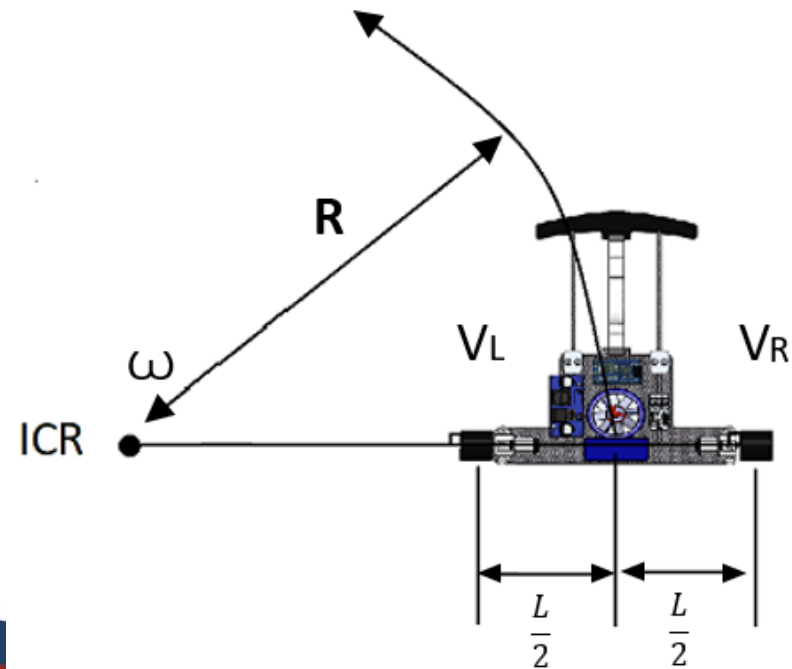
## Robot móvil tipo diferencial, posición y orientación

Ecuaciones finales de cinemática directa

$$\dot{X} = \frac{r(Wd + Wi)}{2} * \cos(\phi)$$

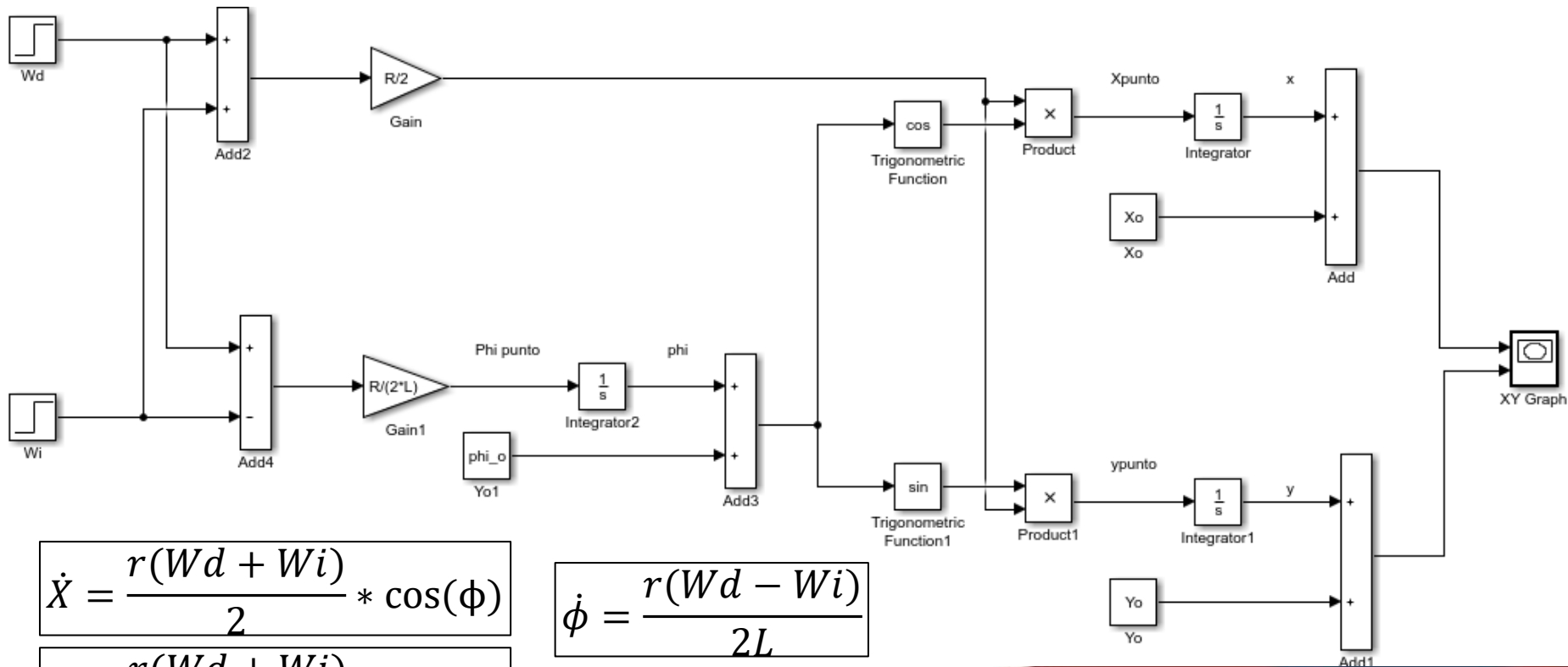
$$\dot{Y} = \frac{r(Wd + Wi)}{2} * \sin(\phi)$$

$$\dot{\phi} = \frac{r(Wd - Wi)}{2L}$$



# SIMULACIÓN CINEMÁTICA EN MATLAB

Simulación de la cinemática directa del robot móvil diferencial



$$\dot{X} = \frac{r(W_d + W_i)}{2} * \cos(\phi)$$

$$\dot{\phi} = \frac{r(W_d - W_i)}{2L}$$

$$\dot{Y} = \frac{r(W_d + W_i)}{2} * \sin(\phi)$$

# SIMULACION CINEMATICA EN MATLAB

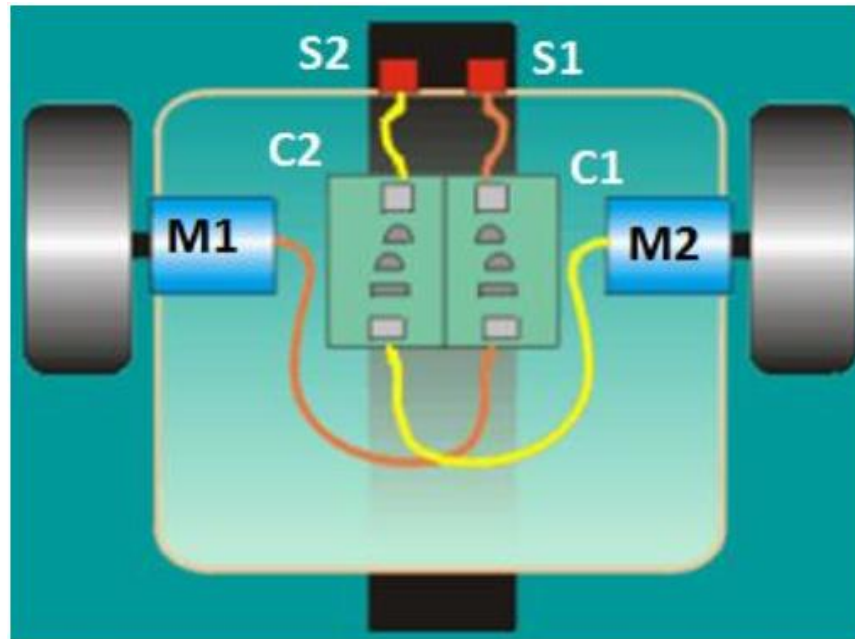
## EJERCICIOS

1. LINEA RECTA: Use  $\varphi_0 = 45^\circ = \pi/4$ ,  $W_d = 1\text{rad/s}$  y  $W_i = 1\text{rad/s}$
2. CIRCULO: use  $W_d = 1.2\text{rad/s}$  y  $W_i = 1\text{rad/s}$
3. CURVA: use  $W_d = 0.08*t$  y  $W_i = 1\text{ rad/s}$
4. Añada el modelo matemático de los motores.



# DISEÑO ELÉCTRICO DEL ROBOT

## Funcionamiento electrónico básico



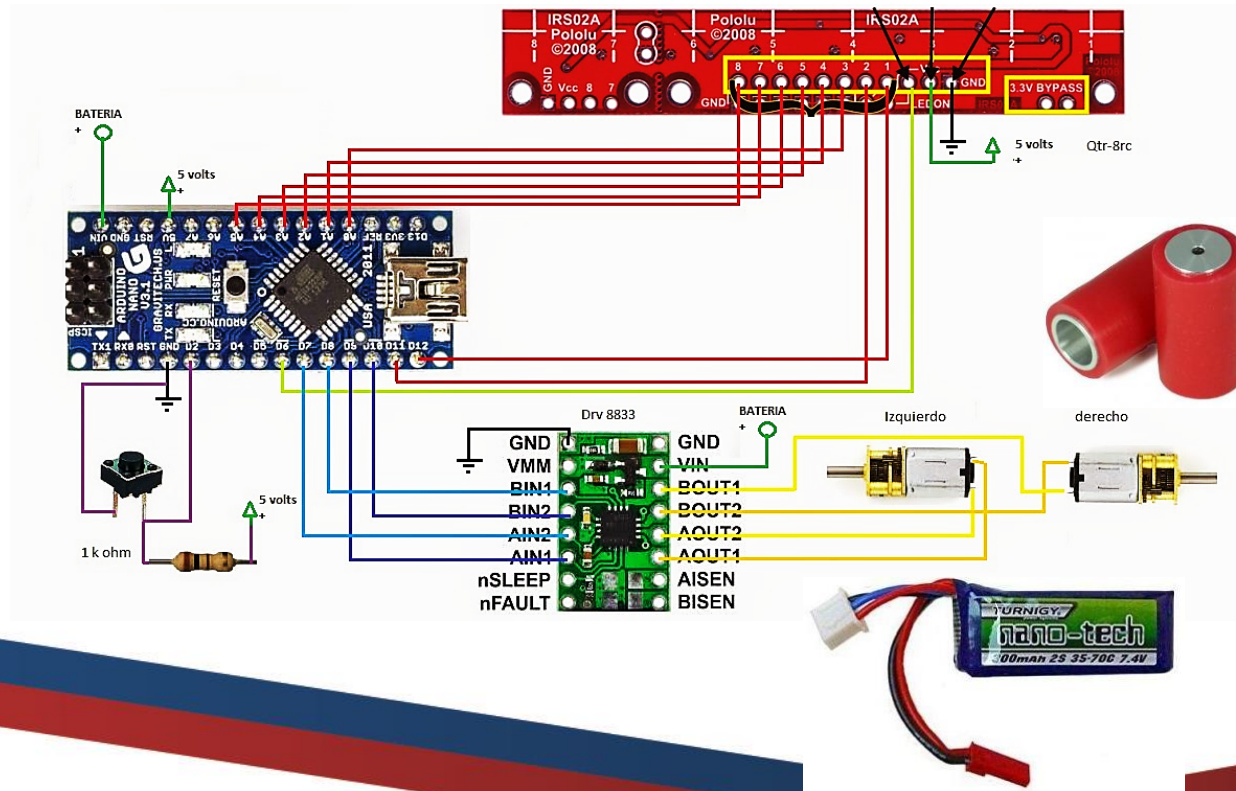
Universidad  
del Cauca



# DISEÑO ELÉCTRICO DEL ROBOT

## Diseño electrónico básico

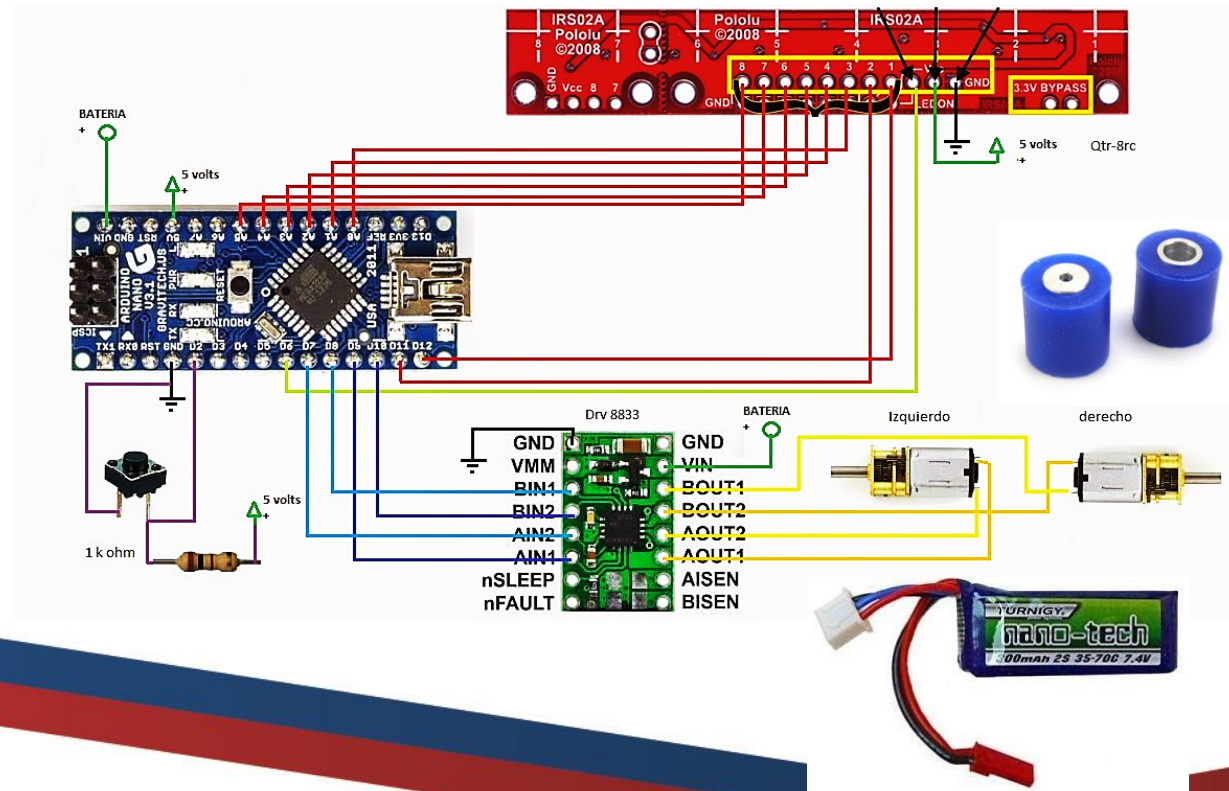
- ✓ QTR8A
- ✓ Micro procesador
- ✓ Driver motores
- ✓ Motores 10:1 6V
- ✓ Batería 3.7V 350mA
- ✓ Llantas silicona



# DISEÑO ELÉCTRICO DEL ROBOT

## Diseño electrónico básico

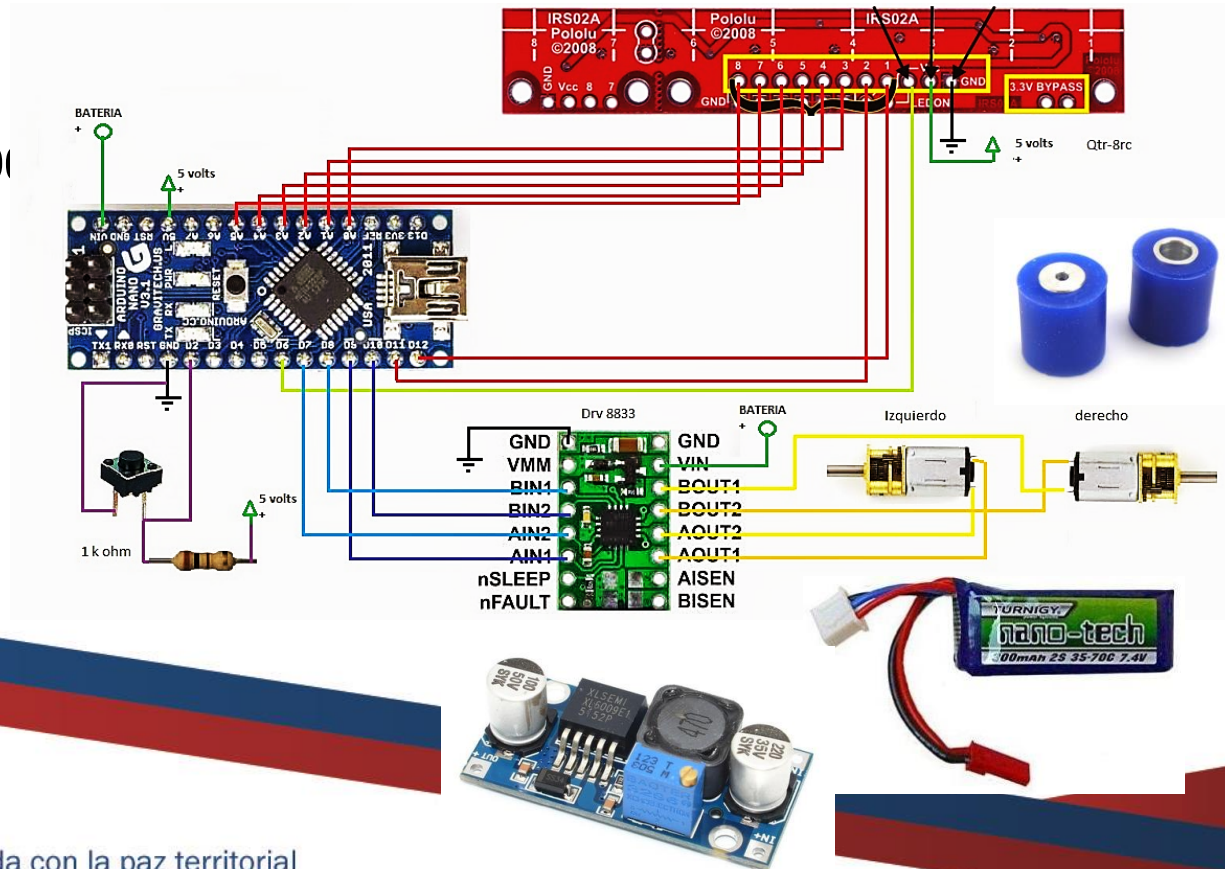
✓ Llantas cortas



# DISEÑO ELÉCTRICO DEL ROBOT

## Diseño electrónico básico

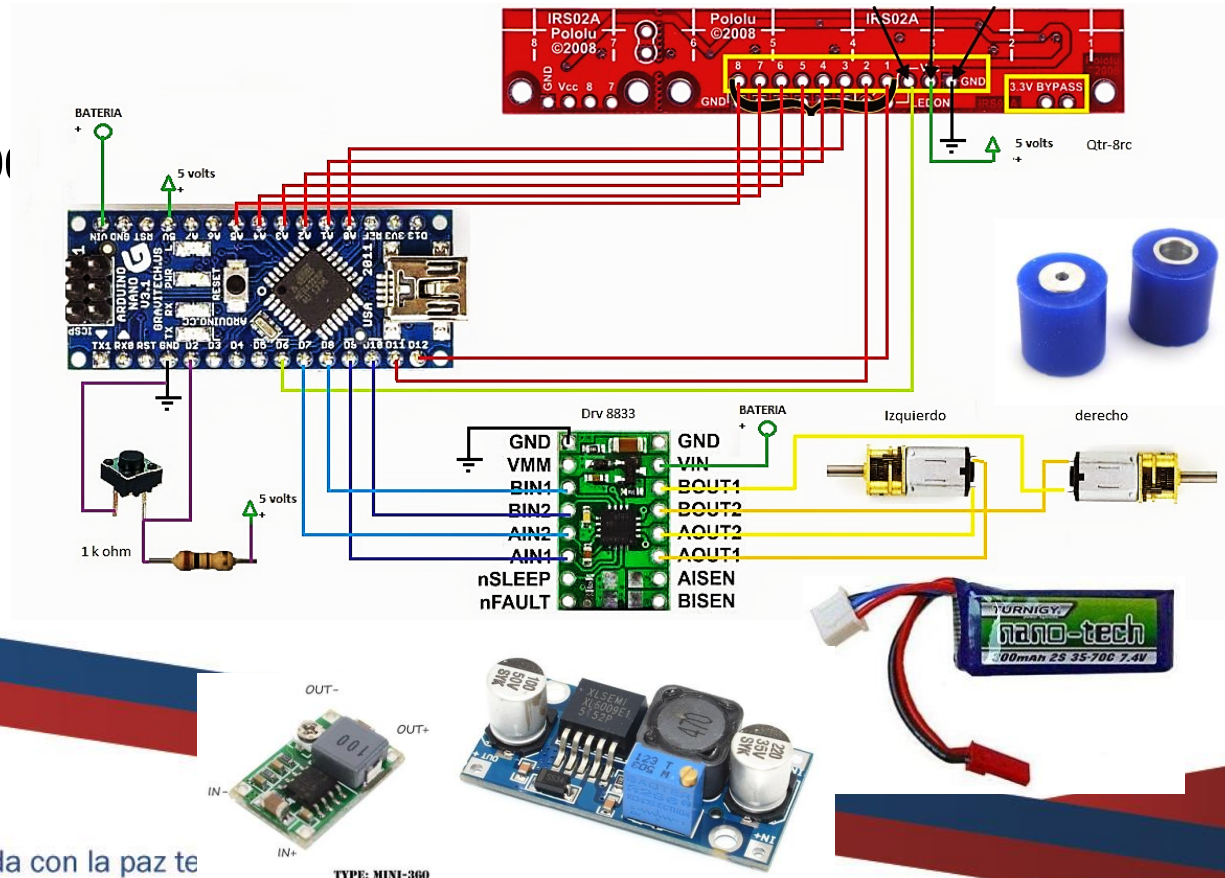
- ✓ Llantas cortas
- ✓ Elevador de voltaje XL6001



# DISEÑO ELÉCTRICO DEL ROBOT

## Diseño electrónico básico

- ✓ Llantas cortas
- ✓ Elevador de voltaje XL6001
- ✓ Regulador de voltaje 5V

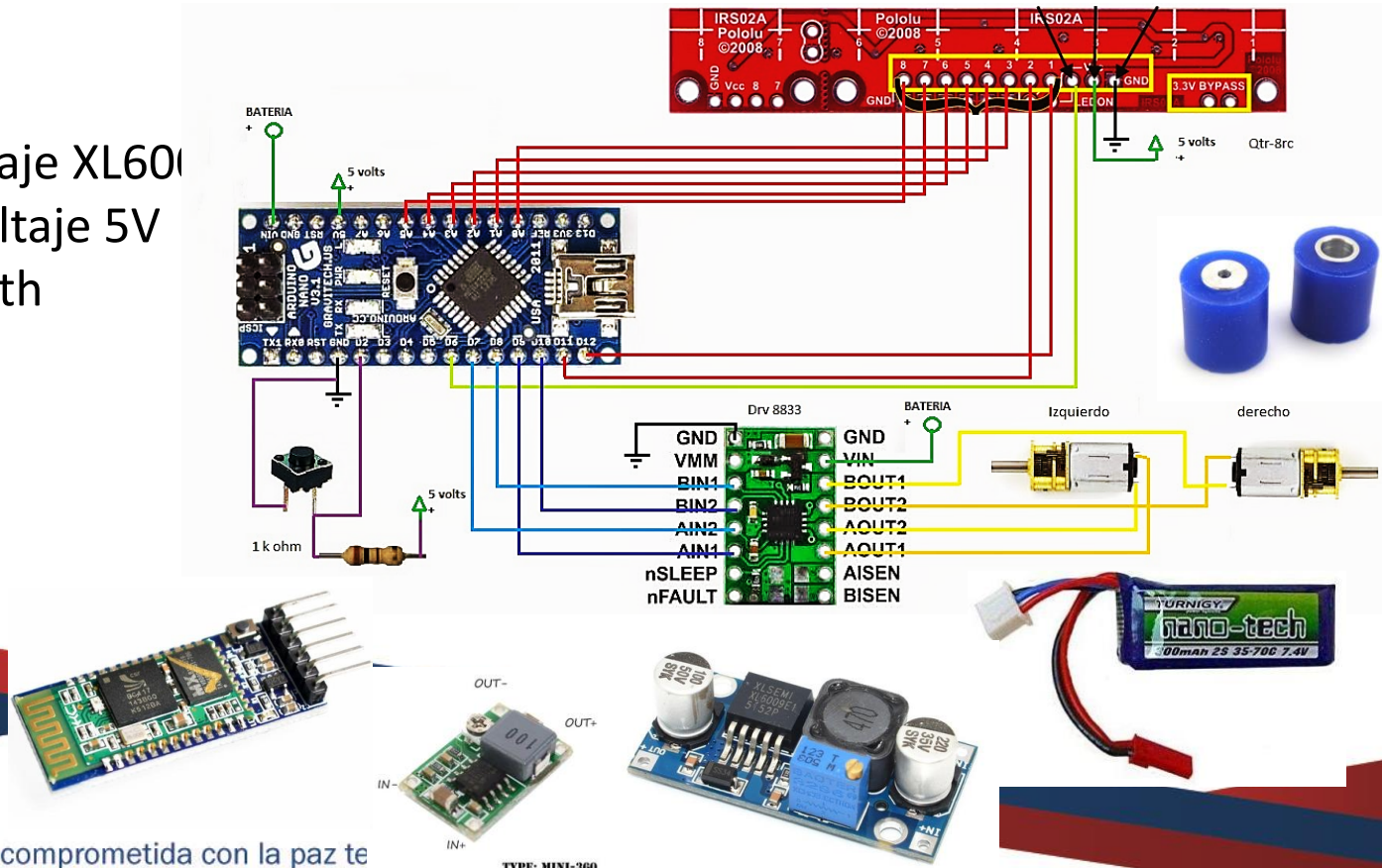




# DISEÑO ELÉCTRICO DEL ROBOT

## Diseño electrónico básico

- ✓ Llantas cortas
- ✓ Elevador de voltaje XL6001
- ✓ Regulador de voltaje 5V
- ✓ Módulo bluetooth

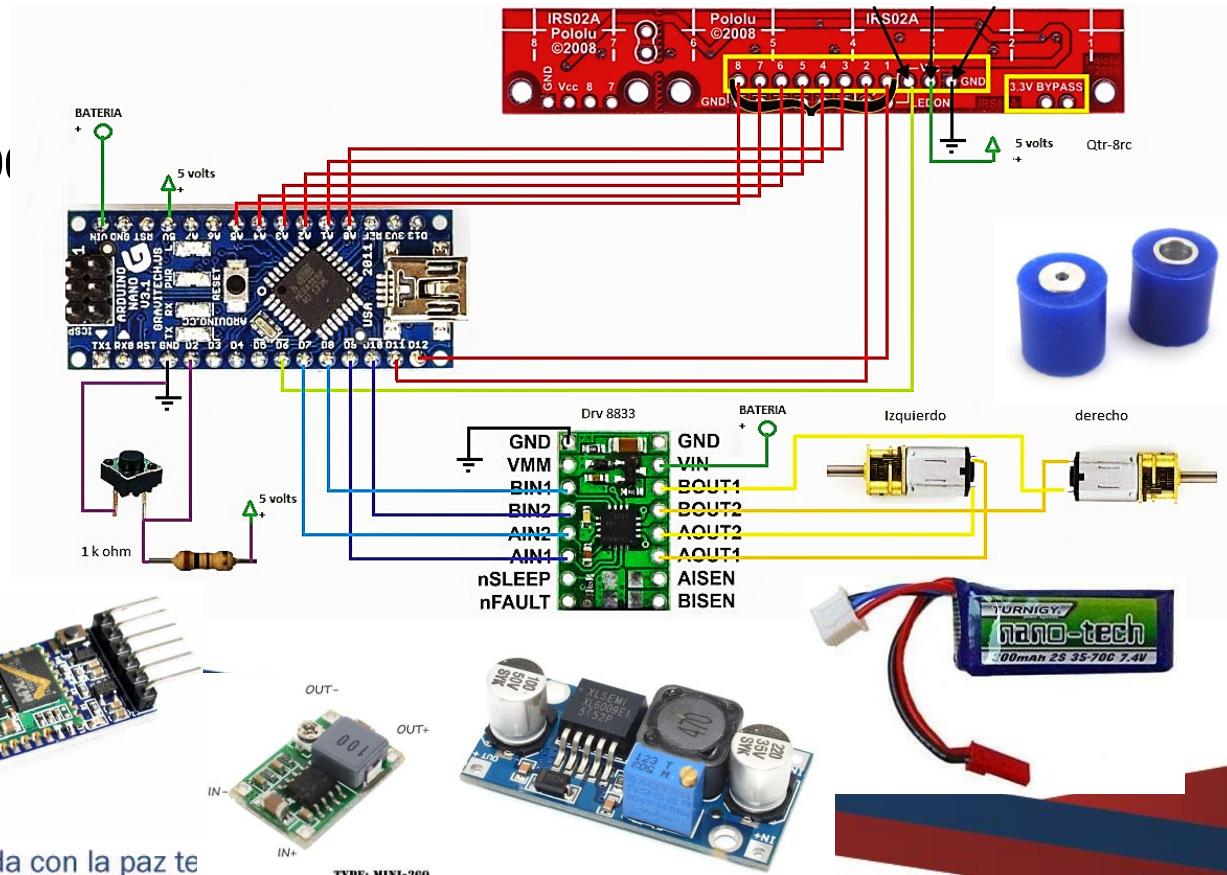




# DISEÑO ELÉCTRICO DEL ROBOT

## Diseño electrónico básico

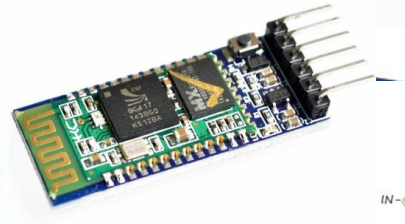
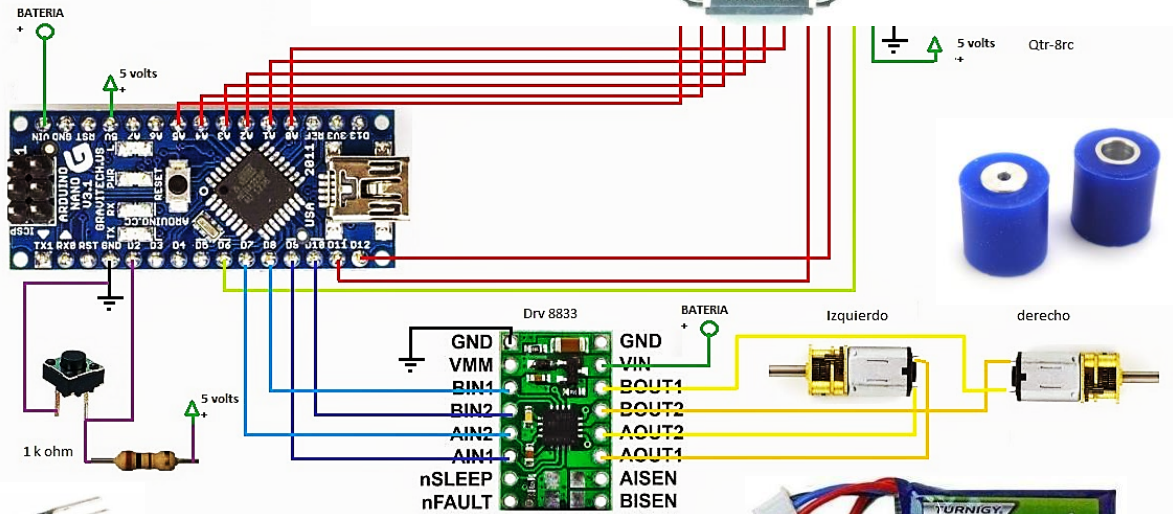
- ✓ Llantas cortas
- ✓ Elevador de voltaje XL6001
- ✓ Regulador de voltaje 5V
- ✓ Módulo bluetooth
- ✓ Turbina EDF27
- ✓ Driver ESC12A



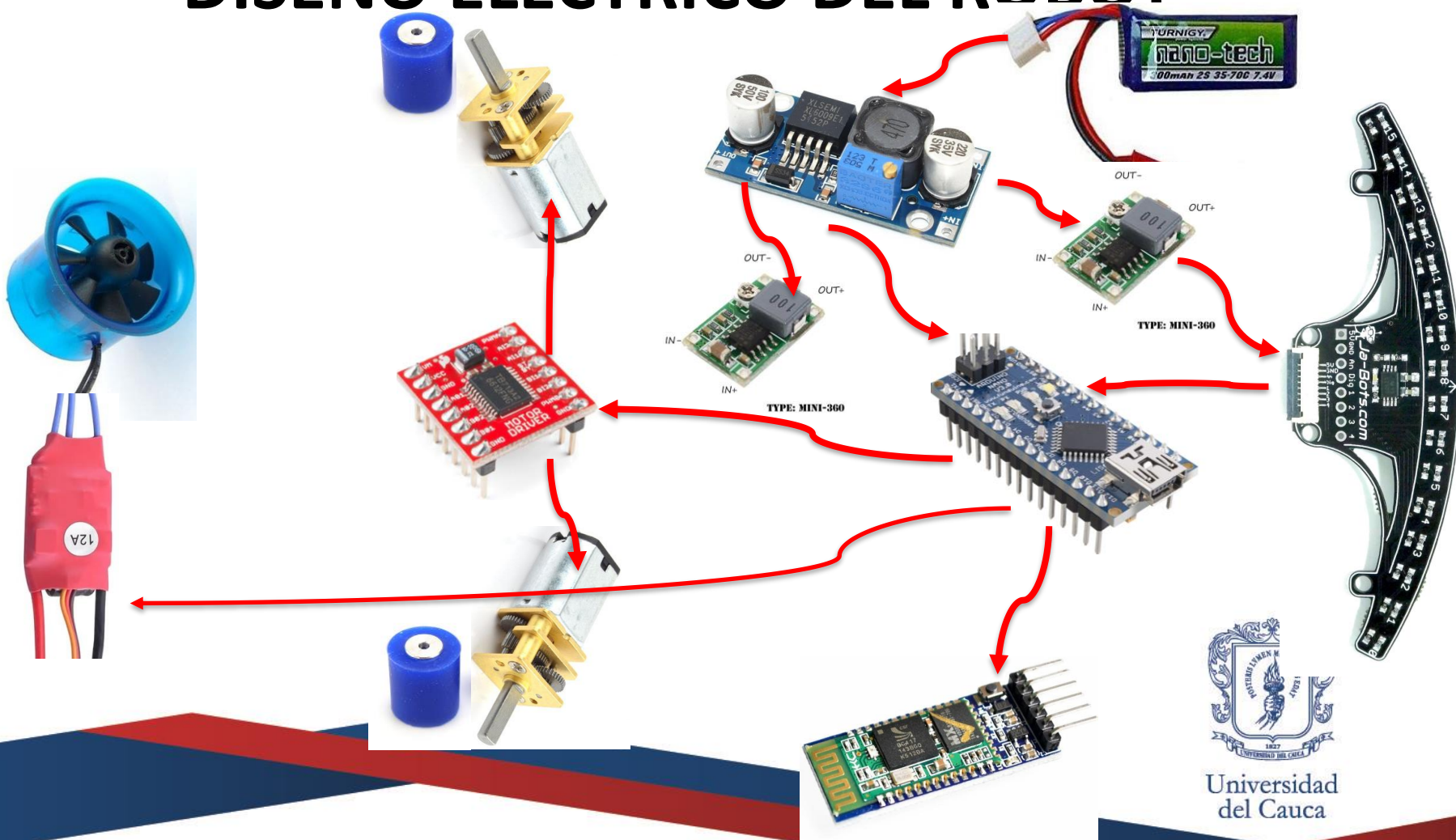
# DISEÑO ELÉCTRICO DEL ROBOT

## Diseño electrónico básico

- ✓ Llantas cortas
- ✓ Elevador de voltaje XL6001
- ✓ Regulador de voltaje 5V
- ✓ Módulo bluetooth
- ✓ Turbina EDF27
- ✓ Driver ESC12A
- ✓ Sensor 16 Canales



# DISEÑO ELÉCTRICO DEL ROBOT

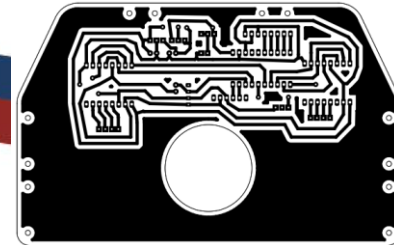
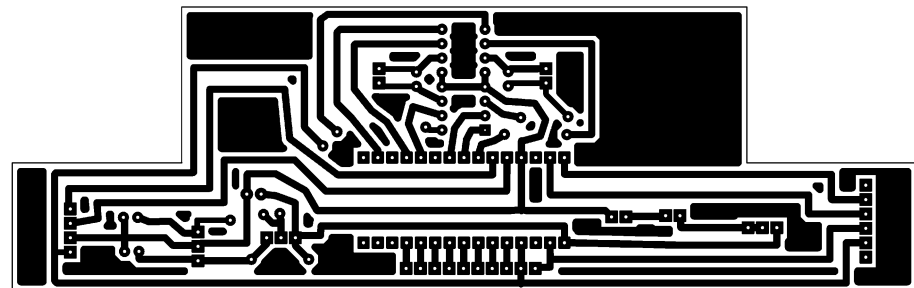
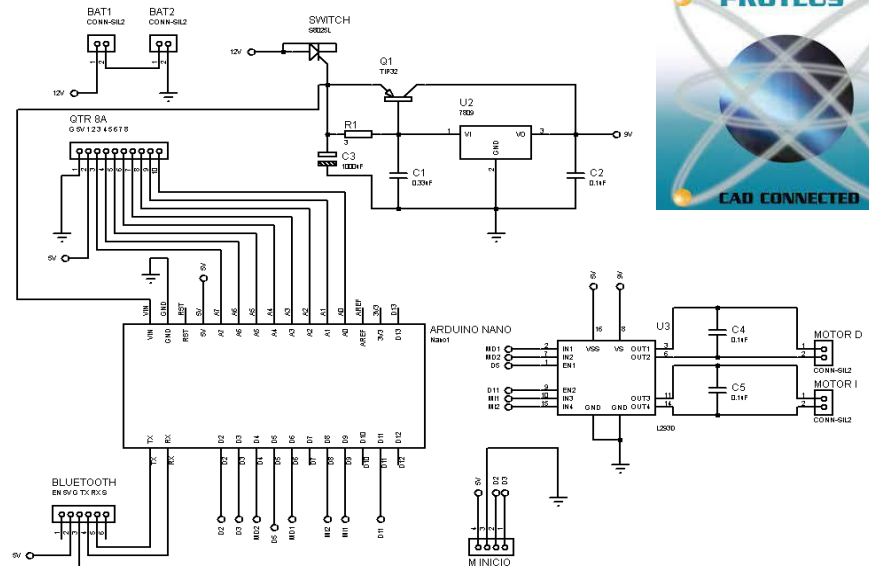
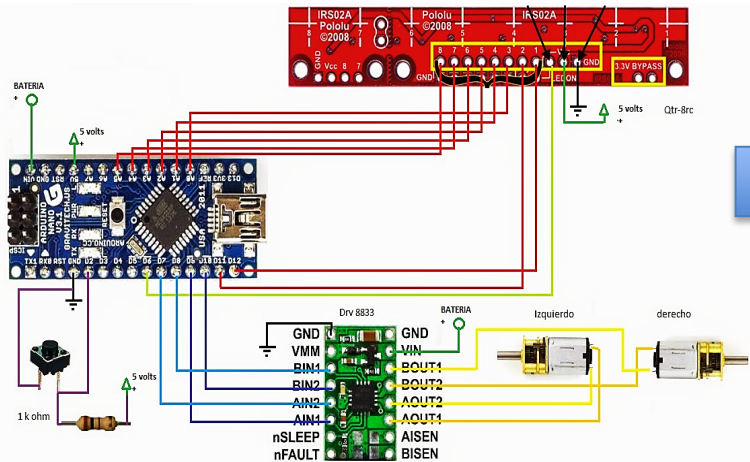
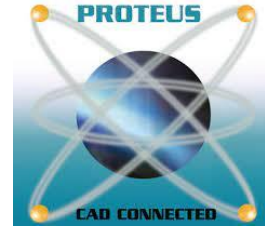


Universidad  
del Cauca



# DISEÑO ELÉCTRICO DEL ROBOT

## Diseño electrónico básico

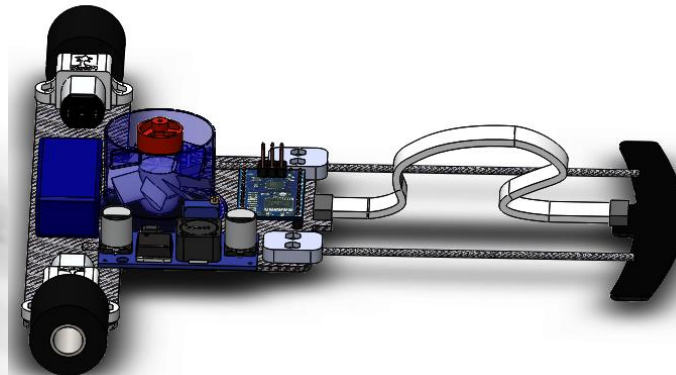
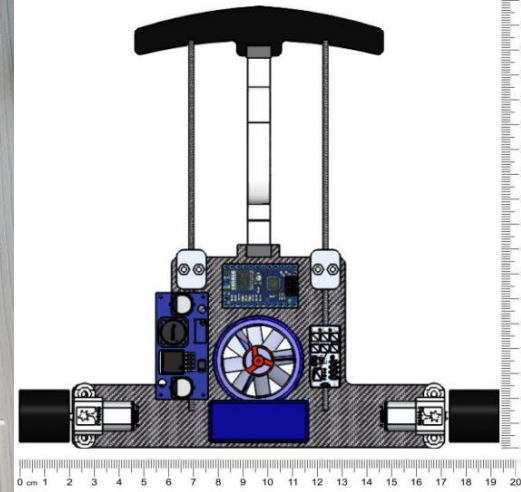
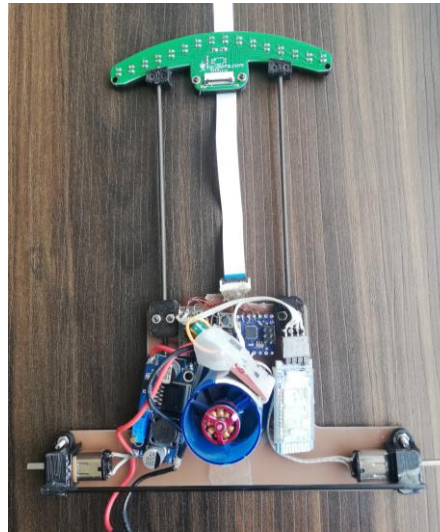


Universidad del Cauca

# MODELADO 3D DEL ROBOT

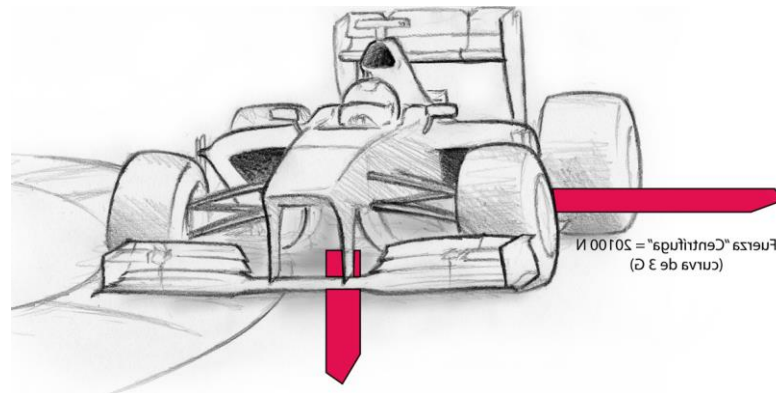
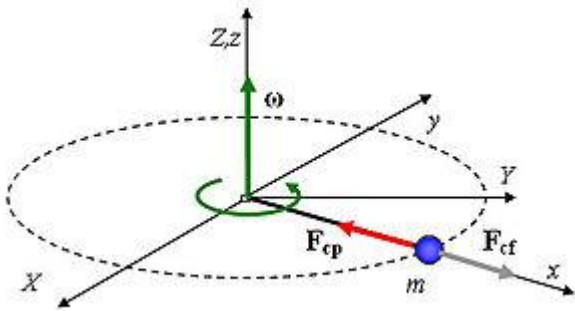
## Importancia del diseño 3d

- ✓ Bajar el centro de masa de robot, (evita resbalar).
- ✓ Centrar las masas o componentes sobre el eje de tracción (balancear).
- ✓ Reglamento (dimensiones).
- ✓ Efecto suelo y difusor en F1



# MODELADO 3D DEL ROBOT

Fuerza centrífuga (que huye del centro)



- ✓ Principio de Bernoulli
- ✓ Tubo de Venturi

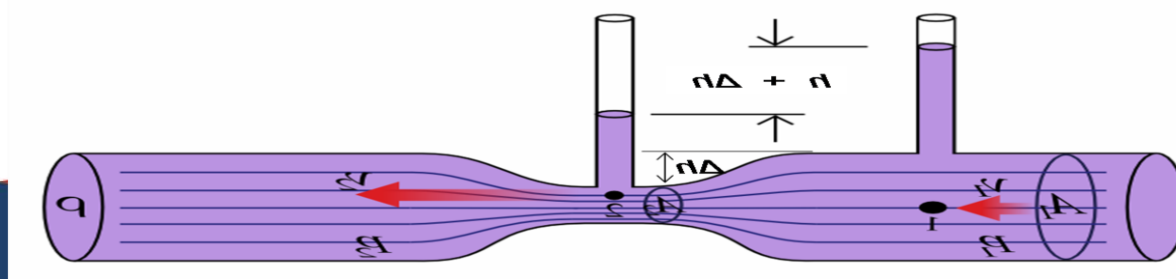


Universidad  
del Cauca



# MODELADO 3D DEL ROBOT

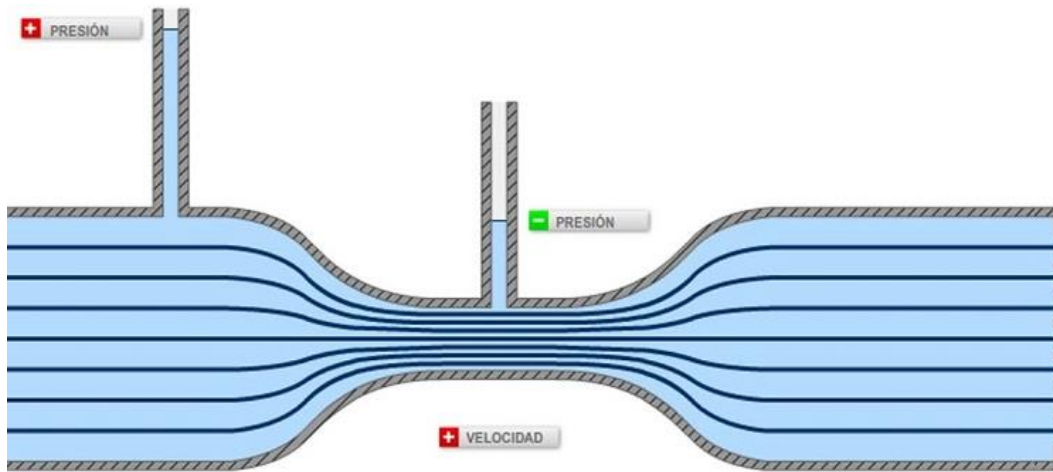
Fuerza centrífuga (que huye del centro)



Universidad  
del Cauca

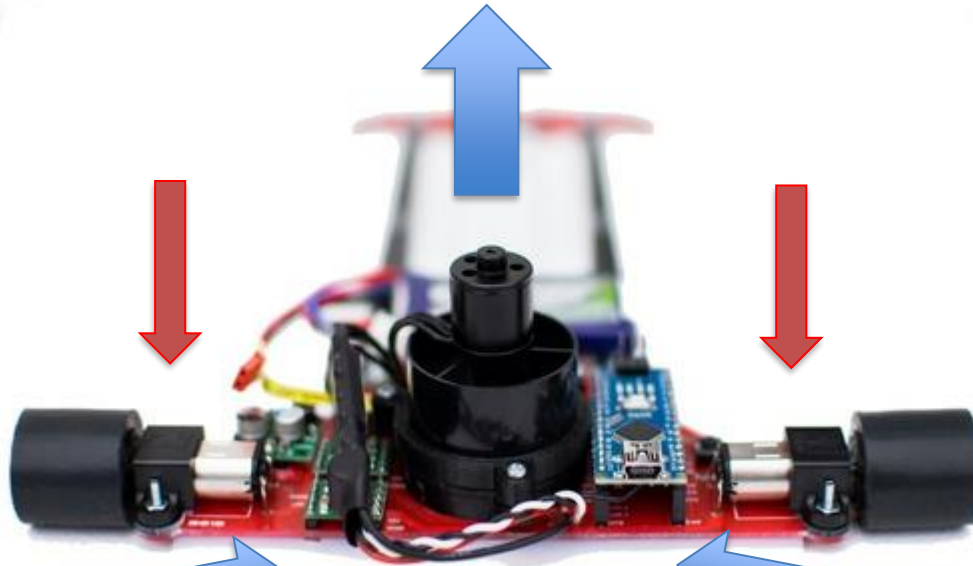
# MODELADO 3D DEL ROBOT

Fuerza centrifuga (que huye del centro)



# MODELADO 3D DEL ROBOT

¿Como solucionar el derrape que provoca la fuerza centrifuga?

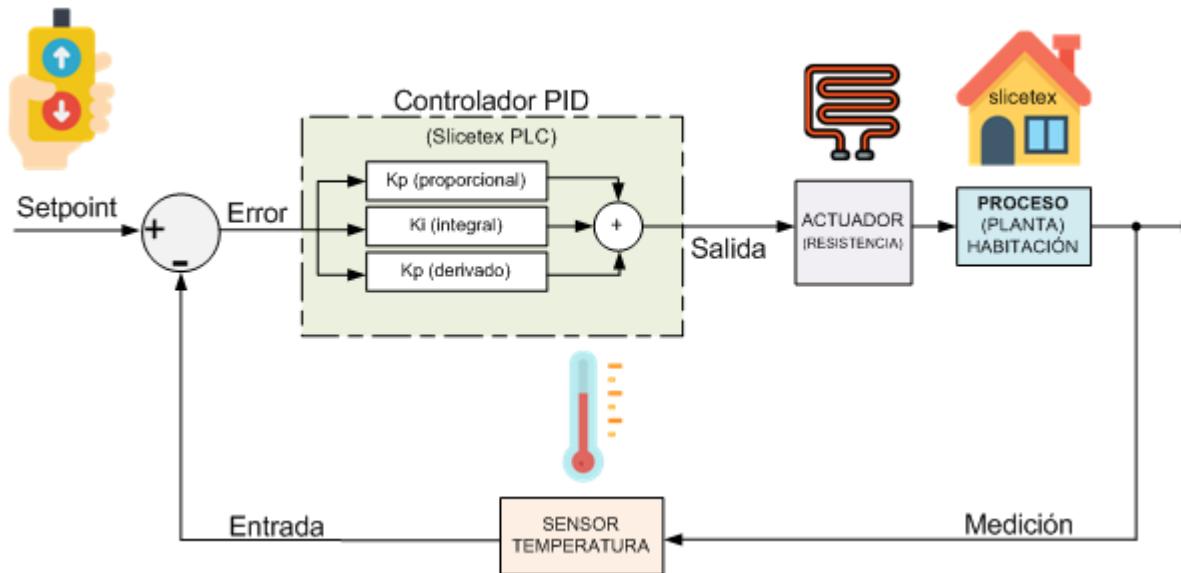


Universidad  
del Cauca

# CONTROL DEL ROBOT SEGUIDOR DE LINEA

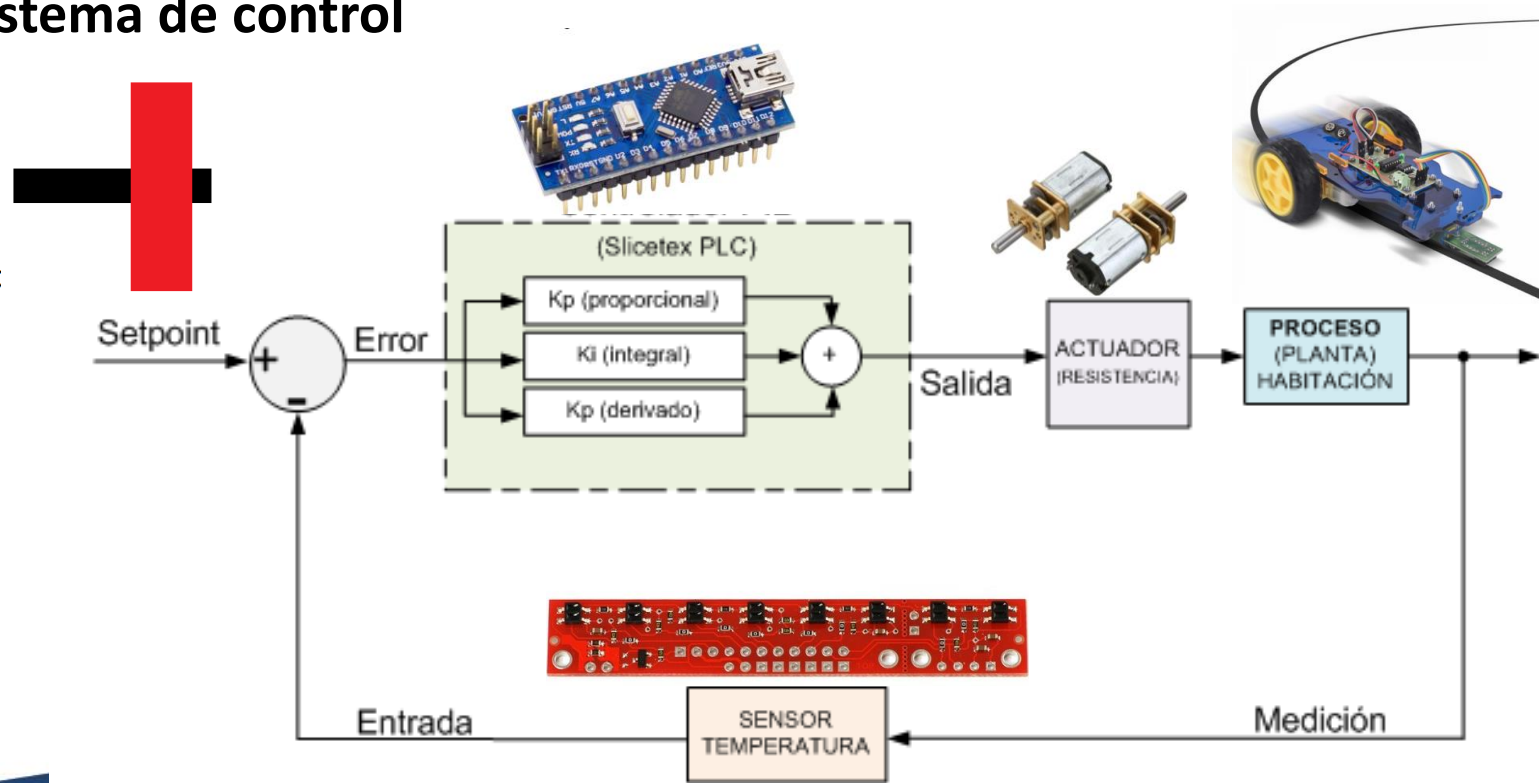
## Sistema de control

La finalidad de un sistema de control es conseguir, mediante la manipulación de una variables del sistema, un dominio completo sobre la variables de salida o variable de interés, de modo que esta alcancen un valor deseado de funcionamiento.



# CONTROL DEL ROBOT SEGUIDOR DE LINEA

## Sistema de control





# CONTROL DEL ROBOT SEGUIDOR DE LINEA

## Controlador PID:

### Proporcional:

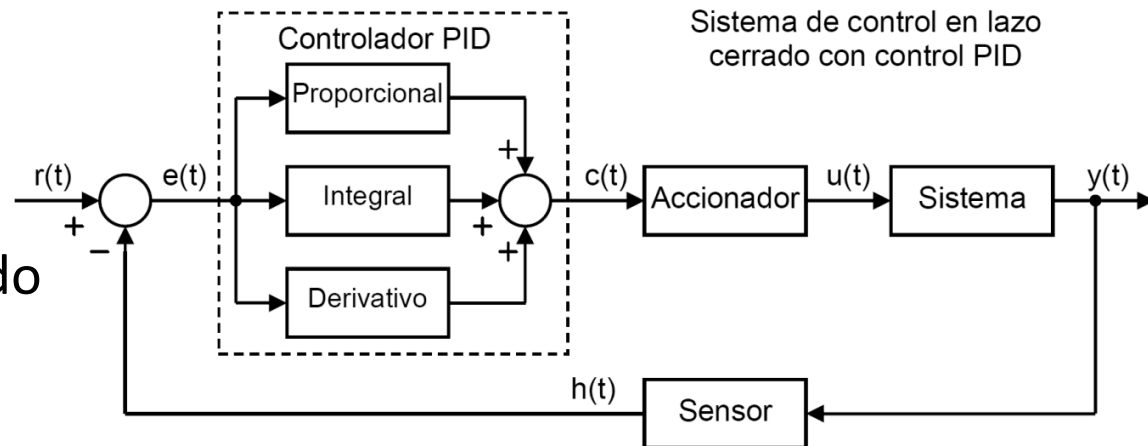
- ✓ Detecta el error
- ✓ Corrige la posición

### Integral:

- ✓ Corrige el error acumulado
- ✓ Rechaza perturbaciones

### Derivativo:

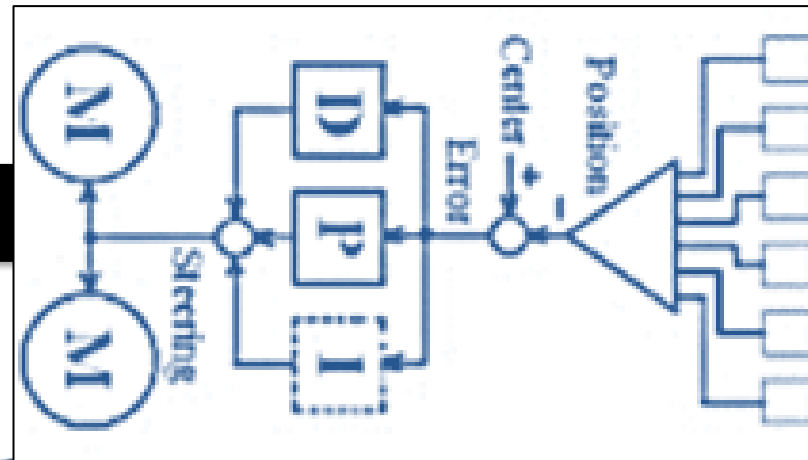
- ✓ Detecta la variación del error
- ✓ Corrige velocidad





# CONTROL DEL ROBOT SEGUIDOR DE LINEA

El controlador del robot seguidor de línea es aquel algoritmo embebido en el procesador o tarjeta de control que le permite al robot mantenerse en el centro de la línea durante todo el recorrido de la pista, tanto en rectas como en curvas.



Universidad  
del Cauca

# CONTROL DEL ROBOT SEGUIDOR DE LINEA

## Versión Académica del PID

$$U(s) = K_p \left[ 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] E(s)$$

Constante de integración  $K_i = 1/T_i$

$T_i$  = tiempo de integración

En esta estructura no es deseable un derivador puro, debido a que amplificaría señales de alta frecuencia. No rechaza ruido.



Universidad  
del Cauca

# CONTROL DEL ROBOT SEGUIDOR DE LINEA

Versión PID con acción derivativa limitada

$$U(s) = K_p \left[ 1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{\frac{T_d}{N} s + 1} \right] E(s)$$

$$N \in (3, 20)$$

Comúnmente  $N = 10$

Rechaza ruido de alta frecuencia y amplifica señales propias del sistema.

Pero no es deseable derivar la señal de referencia.



Universidad  
del Cauca

# CONTROL DEL ROBOT SEGUIDOR DE LINEA

Versión PID con derivada de la salida

$$\frac{d}{dt} e(t) = \frac{d}{dt} r(t) - \frac{d}{dt} y(t)$$

No es conveniente derivar la  
señal de referencia!

$$U(s) = K_p \left[ E(s) + \frac{1}{T_i s} E(s) - \frac{T_d s}{\frac{T_d}{N} s + 1} Y(s) \right]$$



Universidad  
del Cauca

# CONTROL DEL ROBOT SEGUIDOR DE LINEA

## Control PID

```
Error_ant      = Error;  
Error          = Referencia - Salida;  
E_integral     = E_integral + ((Error*(Tm/1000.0)) + ((Tm/1000.0)*(Error - Error_ant))/2.0);  
if(E_integral > 100.0){ E_integral= 100.0;}  
if(E_integral < -100.0){ E_integral= -100.0;}  
E_derivativo  = (Error - Error_ant)/(Tm/1000.0);  
Control       = Kp*( Error + Ti*E_integral + Td*E_derivativo );  
  
s1  = (offset - Control);  
s2  = (offset + Control);
```



# CONTROL DEL ROBOT SEGUIDOR DE LINEA

## Métodos de Sintonización de Controladores PID

Normalmente usados cuando no se conoce con exactitud el modelo matemático que describe el sistema. (aprenderemos los resaltados en negrita)

### **Método de Ziegler y Nichols**

Método de Cohen y Coon

Método de López, Miller, Smith y Murril

Método de Kaya y Sheib

Método de Sung, O, Lee, Lee y Yi

### **Método Manual o Heurístico.**



Universidad  
del Cauca



# CONTROL DEL ROBOT SEGUIDOR DE LINEA

## Efectos de Sintonización de Controladores PID

Permite observar el efecto que tiene el establecimiento de diferentes valores de las constantes del controlador PID sobre el robot.

- ✓ Sintonización del PID
- ✓ PID sobre amortiguado
- ✓ PID sub amortiguado
- ✓ PID críticamente amortiguado



Universidad  
del Cauca

# CONTROL DEL ROBOT SEGUIDOR DE LINEA

## Efectos de Sintonización de Controladores PID

Permite observar el efecto que tiene el establecimiento de diferentes valores de las constantes del controlador PID sobre el robot.

- ✓ [Sintonización del PID](#)
- ✓ [PID sobre amortiguado](#)
- ✓ [PID sub amortiguado](#)
- ✓ [PID críticamente amortiguado](#)
- ✓ [PID sintonizado correctamente permite ganar!](#)



Universidad  
del Cauca

**GRACIAS**  
**ARIGATO**  
**SHUKURIA**  
**JUSPAXAR**  
**DANKSCHEEN**  
**TASHAKKUR ATU**  
**YAQHANYELAY**  
**SUKSAMA**  
**EKHMET**  
**MEHRBANI**  
**GRAZIE**  
**MALAKIE**  
**KOMAPSUMNIDA**  
**GOZAIMASHITA**  
**EFGHARISTO**  
**TINGKI**  
**BIYAN**  
**SHUKRIA**  
**THANK**  
**YOU**  
**BOLZIN**  
**MERCI**



Universidad  
del Cauca