



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Diseño e implementación de una plataforma robótica móvil inalámbrica con tracción intercambiable para el laboratorio de Mecatrónica de la ESPE-L

Por Paúl Tinizaray



# Características del terreno

Conocer las características del terreno ayuda a determinar la morfología del robot

Ambiente	Características
Laboratorio de Mecatrónica	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ambiente estructurado</li><li>• Terreno: cerámica</li></ul>
Pasillos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ambiente estructurado</li><li>• Terreno: cerámica</li></ul>
Escaleras	<ul style="list-style-type: none"><li>• Material: Concreto, piedra</li><li>• Huella: 300 mm.</li><li>• Contrahuella: 200 mm.</li></ul>
Exterior del campus	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ambiente no estructurado</li><li>• Terreno: tierra, césped, concreto</li></ul>

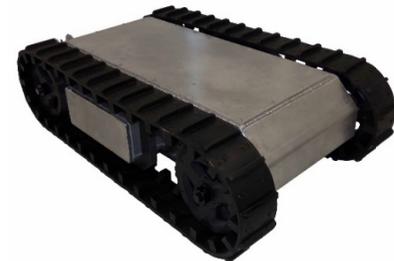
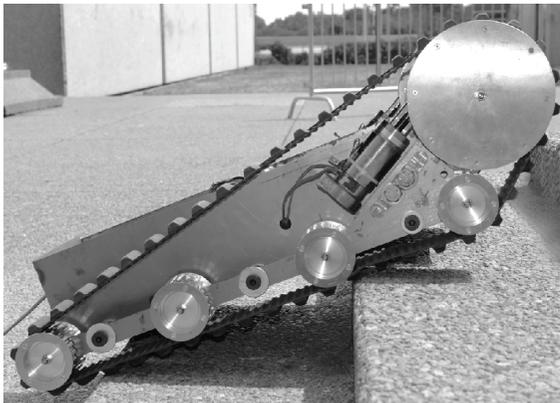
# Plataformas comerciales

En el principio no es posible definir exactamente todos los parámetros del robot. Estudiar las características de robots similares aporta puntos de partida en el diseño

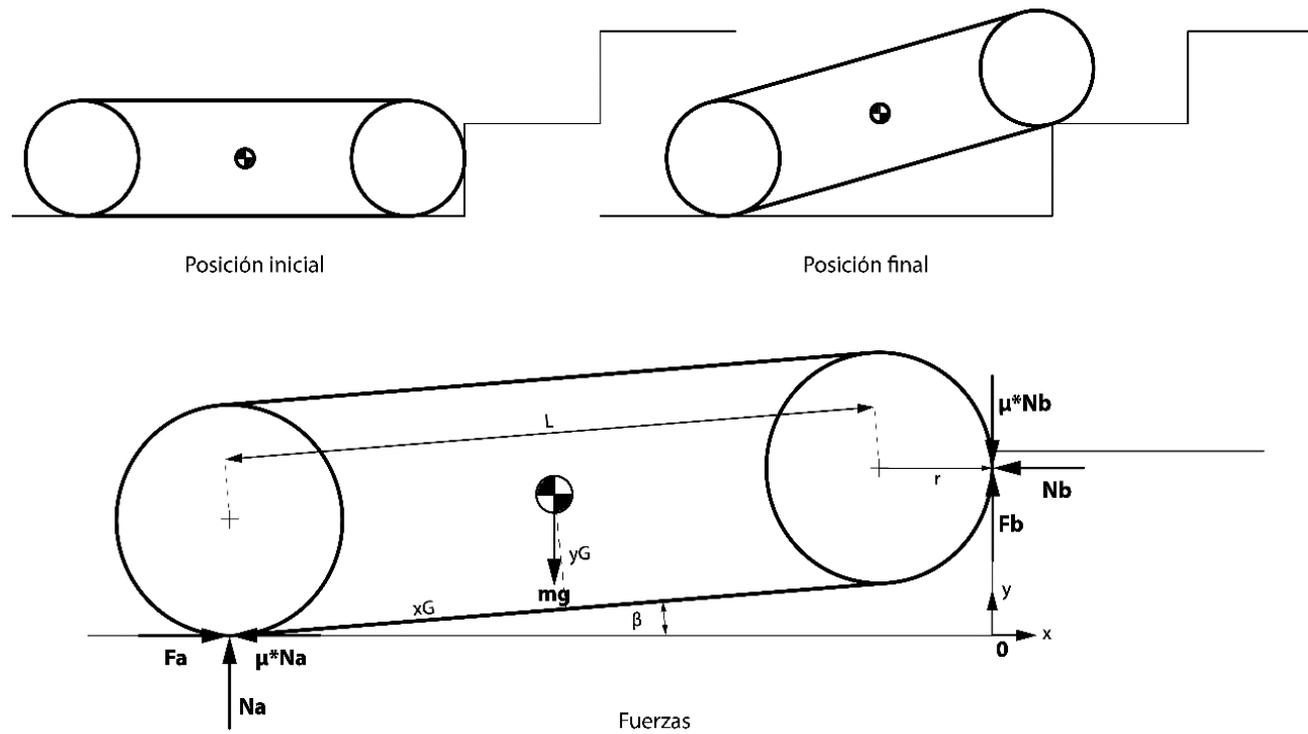
Robot	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Carga útil (kg)	Velocidad (m/s)
Seekur Jr. <sup>1</sup>	425	663	494	77	40	1,2
MMP-40 (tracked) <sup>2</sup>	686	529	184	18	13	0,73
LT2 <sup>3</sup>	686	431	178	20	-	1,52
MegaBot <sup>4</sup>	787	660	355	80	68	3,35
Jaguar Lite <sup>5</sup>	640	538	176	13,5	13	2
Packbot <sup>6</sup>	686	406	178	11	-	2,6
Talon <sup>7</sup>	864	572	279	39	136	1,8
Promedio	682	543	263	37	54	2

# Selección de la morfología

Los robots más adecuados para edificaciones son los escaladores de oruga de geometría fija. Dentro de este grupo se distinguen los modelos clásico y compacto. El modelo compacto es más adecuado para este proyecto.



# Fase 1: fuerzas



## Fase 1: ecuaciones

- $\sum F_x = m * \ddot{x}$

$$F_A - \mu_A * N_A - N_B = m * \ddot{x}$$

- $\sum F_y = m * \ddot{y}$

$$N_A - F_B - \mu_B * N_B - m * g = m * \ddot{y}$$

- $\sum M_0 = J * \ddot{\beta}$

$$-N_A * (L * \cos \beta + r) + m * g * [(L - x_G) * \cos \beta + r] + N_B * (L * \sin \beta + r) = J * \ddot{\beta}$$

# Fase 1: aceleraciones

- Aceleración angular: se asume que es constante, los valores  $\beta$  y  $t$  son impuestos por el diseñador

$$\ddot{\beta} = \frac{2 * \beta}{t^2}$$

- Aceleración en el eje x: primero se determina el desplazamiento del centro de gravedad en x. La segunda derivada de esta expresión es la aceleración.  $\beta$  se calcula asumiendo MRUV.

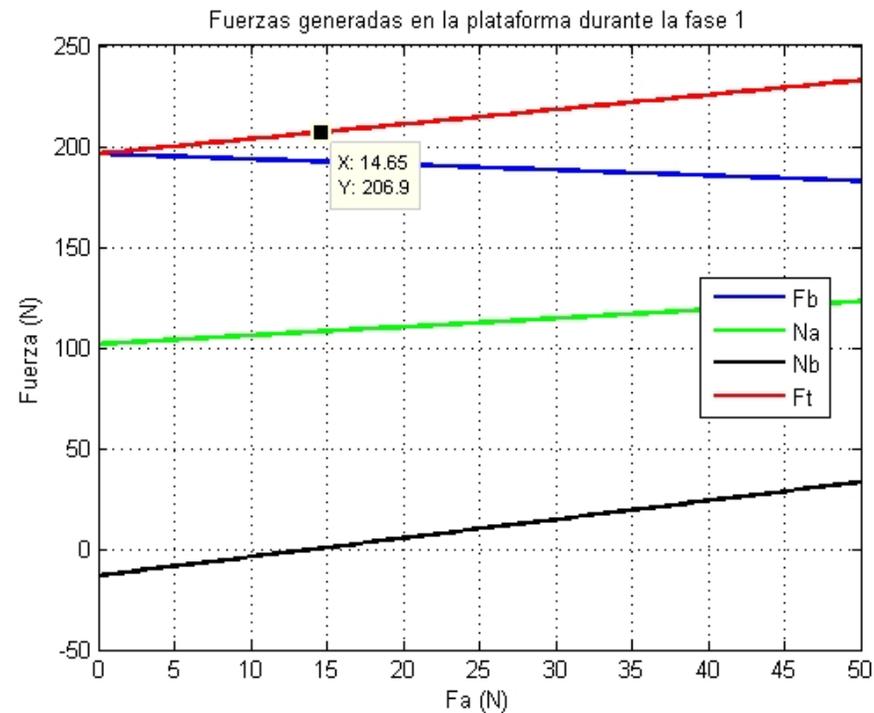
$$x = (L - x_g) * \cos \beta + r$$
$$\ddot{x} = (L - x_G) * (\cos \beta * \dot{\beta}^2 + \sin \beta * \ddot{\beta})$$

- Aceleración en el eje y: primero se determina el desplazamiento del centro de gravedad en y. La segunda derivada de esta expresión es la aceleración

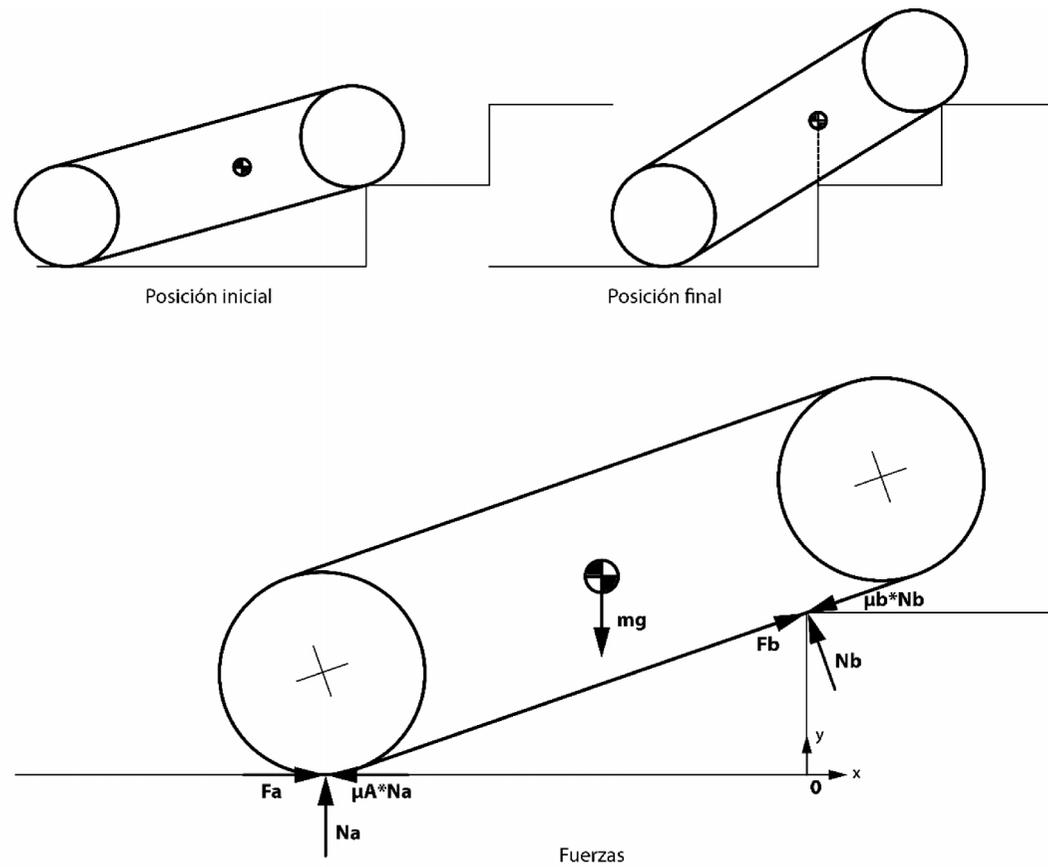
$$y = x_G * \sin \beta + r$$
$$\ddot{y} = x_G * (-\sin \beta * \dot{\beta}^2 + \cos \beta * \ddot{\beta})$$

# Fase 1: solución

El sistema de ecuaciones cinéticas contiene más incógnitas que ecuaciones por lo que su solución es aproximada. La mínima fuerza requerida es 207 N.



# Fase 2: diagrama



## Fase 2: ecuaciones

- $\sum F_x = m * \ddot{x}$   
 $F_A - \mu_A * N_A - \mu_B * N_B * \cos \beta - N_B * \sin \beta = m * \ddot{x}$
- $\sum F_y = m * \ddot{y}$   
 $N_A + N_B * \cos \beta - \mu_B * N_B * \sin \beta - m * g = m * \ddot{y}$
- $\sum M_0 = J * \ddot{\beta}$   
 $(\mu_B * N_B * \cos \beta + N_B * \sin \beta) * T - N_A * \frac{T}{\tan \beta} = J * \ddot{\beta}$

## Fase 2: aceleraciones

- Aceleración angular: se asume que es constante, los valores  $\beta$  y  $t$  son impuestos por el diseñador

$$\ddot{\beta} = \frac{2 * \beta}{t^2}$$

- Aceleración en el eje x

$$\ddot{x} = \left( x_G * \cos \beta + 2 * T * \frac{(\tan \beta^2 + 1)^2}{\tan \beta^3} - 2 * T * \frac{\tan \beta^2 + 1}{\tan \beta} \right) * \dot{\beta}^2 + \left( x_G * \sin \beta - T * \frac{\tan \beta^2 + 1}{\tan \beta^2} \right) * \ddot{\beta}$$

Aceleración en el eje y

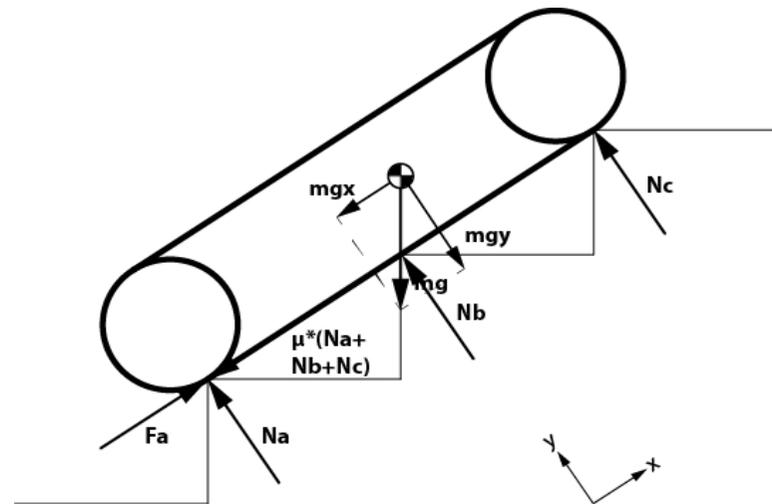
$$\ddot{y} = x_G * \left( -\sin \beta * \dot{\beta}^2 + \cos \beta * \ddot{\beta} \right)$$

## Fase 2: solución

El sistema de ecuaciones cinéticas contiene igual número de incógnitas que ecuaciones. La fuerza total requerida por la plataforma es 196 N.

## Fase 3

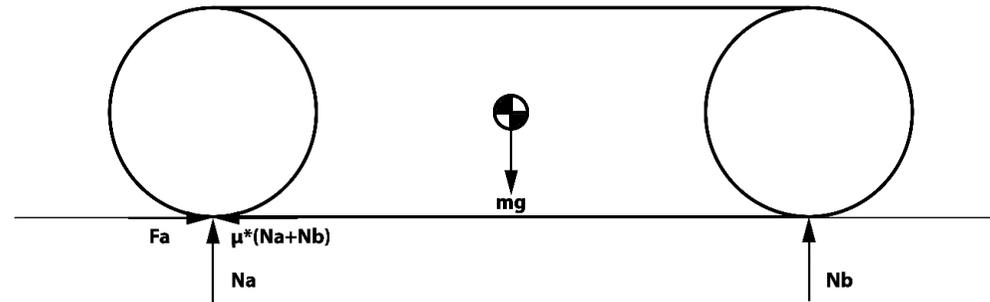
- Diagrama



- Ecuación: El valor  $a$  debe ser impuesto por el diseñador
$$F = m * a + m * g * \sin \beta + \mu * m * g * \cos \beta$$
- Solución: la fuerza mínima requerida por la plataforma es 196 N

# Fase 4

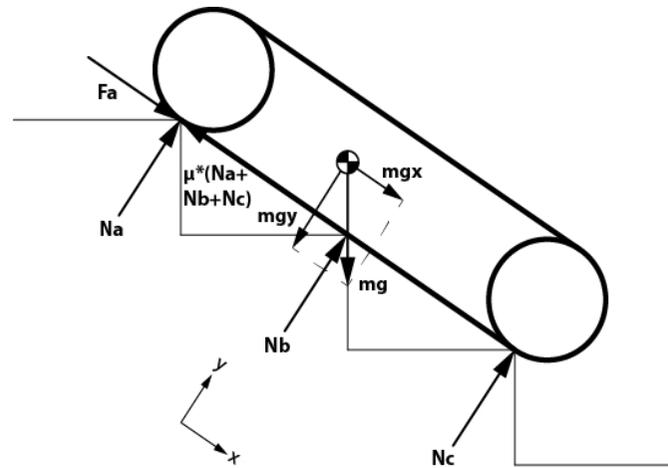
- Diagrama



- Solución: la plataforma requiere 49 N para desplazarse

# Fase 5: Diagrama

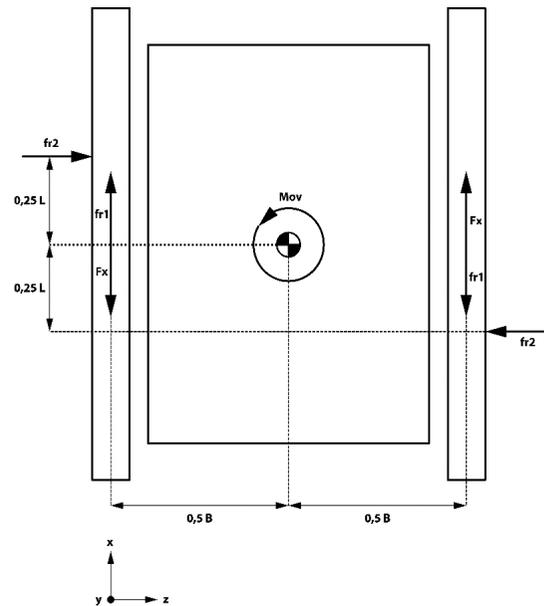
- Diagrama



- Solución: la plataforma apenas requiere fuerza para descender

# Rotación: Diagrama

- Diagrama



- Ecuación

$$F = \frac{2 * J * \alpha + 2 * \mu_1 * m * g * B + \mu_2 * m * g * L}{B}$$

- Solución: La fuerza requerida por la plataforma para rotar es 150 N.

# Selección de actuadores

- Se estudiaron 3 modelos utilizados en robots móviles.
- El motor MY1018 se muestra como el más conveniente.

Parámetro	Motor			Mejor	Justificación
	NPC-T64 <sup>1</sup>	OLBO MY1018 <sup>2</sup>	Golden Motor MBG36F <sup>3</sup>		
Identificador	1	2	3		
Aplicación	Robots móviles	Bicicleta eléctrica	Bicicleta eléctrica		
Tipo	Imanes permanentes con caja de reducción	Imanes permanentes	Sin escobillas	1 y 2	Los motores de imanes permanentes son más fáciles de controlar que los motores sin escobillas. Las ecuaciones que rigen su comportamiento son también más sencillas
Potencia (W)	700	250	250	2 y 3	Potencias bajas son más fáciles de controlar que potencias altas
Voltaje nominal (V)	24	24	24		
Corriente nominal (A)	43	13,4	14,24	2	Corrientes bajas son más fáciles de controlar que corrientes altas
Torque nominal (Nm)	33,9	5,7	20,3	1	Un mayor torque permite aumentar la carga útil de la plataforma
Velocidad (rpm)	181	383	172,9	-	No existe restricción respecto a la velocidad
Masa (kg)	6	2	2,7	2	Menor masa del dispositivo reduce los esfuerzos generados sobre el chasis de la plataforma

# Diseño del módulo mecánico

- El robot se caracteriza especialmente por el diseño del sistema de orugas.
- Los sistemas de banda dentada son mucho más precisos que los sistemas de banda plana debido a que no presentan deslizamiento.
- Los sistemas de banda plana son más fáciles de implementar que los sistemas de banda dentada.
- Al seleccionarse el sistema de oruga debe tenerse en cuenta que en robótica móvil la precisión de los movimientos no es un requerimiento crítico. Se selecciona el sistema de orugas basado en banda plana.

# Módulo de control

- El corazón del módulo de control es una tarjeta Arduino Mega.
- Con dos transceptores Xbee S2 funcionando en modo transparente, el módulo puede ser controlado desde un gran número de lenguajes de programación y aplicaciones.

Componente	Modelo	Cantidad
Tarjeta controladora	Arduino Mega	1
Driver para motor	Moster Motor Shield	2
Circuito distribuidor de voltaje	-	1
Antena	Xbee S2	2
	Xbee Explorer	1
	Xbee Shield	1

# Software de control

Teóricamente, las tarjetas Arduino son capaces de interactuar con cualquier lenguaje de programación que disponga de comunicación serial. Python es el lenguaje de programación recomendado para controlar la plataforma por las siguientes razones:

- Es de distribución libre.
- Es estable.
- Es multiplataforma.
- Es de fácil aprendizaje
- Posee amplia documentación.

# Comunicación Arduino-Python

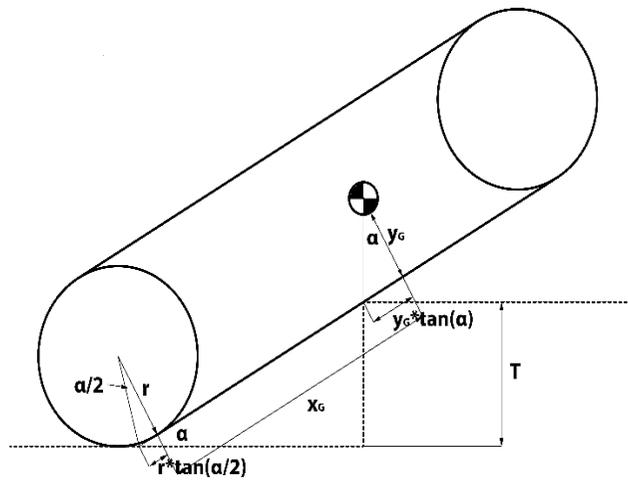
- Para implementar la comunicación entre el microcontrolador y Python se selecciona el protocolo Firmata. Comandos útiles para implementar programas se estudian a continuación:

Código	Función	Configuración
<code>from pyfirmata import ArduinoMega, útil</code>	Importación de la librería PyFirmata	pyfirmata es la librería administradora del protocolo Firmata. ArduinoMega corresponde a la tarjeta seleccionada; el módulo útil posee funciones misceláneas del protocolo
<code>object=ArduinoMega('port',baudrate)</code>	Creación de un objeto con los atributos y métodos correspondientes a un Arduino Mega	object es el nombre del puerto port es el puerto al que está conectado el dispositivo baudrate se encuentra por defecto en 57600
<code>get_pin ('pin_type: pin_number: pin_mode'</code>	Configura los pines de la tarjeta	pin_type especifica la naturaleza del pin: a (analógico), d (digital) ; pin_number es el número de pin de la tarjeta; pin_mode configura el pin como entrada o salida: i (entrada), o (salida), p (salida PWM)

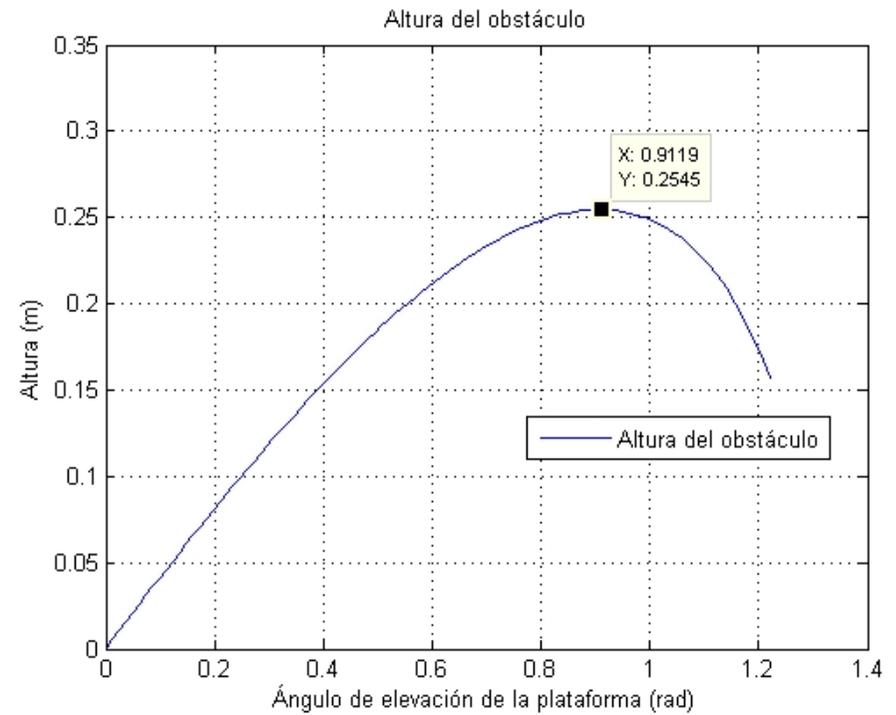
# Resultados

Parámetro	Valor
Locomoción	Ruedas y orugas
Dimensiones (mm)	L: 1000, W: 850; H: 300
Masa sin baterías (kg)	18
Masa con baterías (kg)	22
Carga útil (kg)	8
Velocidad máxima (m/s)	0,31
Pendiente máxima (°)	34
Radio de giro (mm)	0
Altura de obstáculo máxima (mm)	250
Brecha máxima (mm)	470
Voltaje de alimentación (V)	12
Autonomía (min)	30
Tipo de comunicación	Inalámbrica
Distancia máxima de conexión (m)	Con línea de vista: 12, Sin línea de vista: 4
Protección contra polvo	Solo el módulo de control
Protección contra agua	No

# Altura máxima del obstáculo



$$T = \left( x_G - y_G * \tan \alpha + r * \tan \left( \frac{\alpha}{2} \right) \right) * \sin \alpha$$



# Conclusiones: modelo matemático

- La tarea inicial en el diseño de un escalador de gradas es el análisis dinámico porque permite determinar las características de los actuadores y los esfuerzos que experimenta el módulo mecánico del robot durante su funcionamiento; después, las características de los actuadores definen casi por completo los componentes que integrarán el módulo de control.
- El análisis dinámico presentado en este proyecto contiene elementos originales que lo diferencian de los presentados en proyectos similares

# Conclusiones: módulo mecánico

- Bandas y ruedas dentadas no son necesarias para el buen desempeño de un escalador de orugas; el sistema oruga-ruedas motrices puede tratarse como una transmisión de banda plana y con la adecuada tensión inicial no se presenta deslizamiento apreciable.
- La distancia entre el centro de gravedad y la huella de la oruga debe ser tan pequeña como lo permita la geometría de los componentes de la plataforma; un centro de gravedad bajo reduce la fuerza requerida por la plataforma durante las primeras fases del escalamiento y aumenta la altura máxima del obstáculo.
- El ancho de un escalador de gradas no es una variable determinante durante el análisis dinámico por lo que puede determinarse en base a otros requerimientos de la plataforma como la geometría de sus componentes.
- La configuración del robot con orugas es superior a la configuración con ruedas en todos los entornos considerados en este proyecto ya que, si bien el análisis estadístico determinó que el robot es más veloz con ruedas, no existe restricción en la velocidad del robot

# Conclusiones: módulo de control

- La frecuencia con la que la tarjeta Arduino envía datos debe ser menor a la frecuencia con la que el software de control los lee.
- Para lograr una correcta comunicación bidireccional entre Arduino y algún software de programación el camino más fácil es utilizar un *sketch* especializado.
- La comunicación inalámbrica más sencilla de implementar y configurar se consigue utilizando módulos Xbee en modo transparente.
- La comunicación serial con Arduino exige tener una pequeña interrupción en los lazos de control; de otra manera se conseguirá una comunicación defectuosa.