

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS

# Elección de ruta y ajuste de velocidad en robots con ruedas dependiendo de la rugosidad de la superficie de navegación

***Alumno: Farid García Lamont***

*Asesor: Dr. José Matías Alvarado Mentado*

Doctorado en  
Computación

# Contenido

- Problema a resolver
- Propuesta
  - Avances
  - Metodología
- Estado del arte
- Trabajo futuro
- Plan de trabajo

# Problema a resolver

# Problemática

- Para superficies lisas, los R3 poseen:
  - ✓ Velocidad
  - ✓ Agilidad
  - ✓ Precisión.
- Pero no sobre terreno (cancha) con desniveles, hoyos, baches “suaves”:
  - Con pendiente de a lo más  $15^{\circ}$

# Navegación de robots en superficies con *irregularidades*

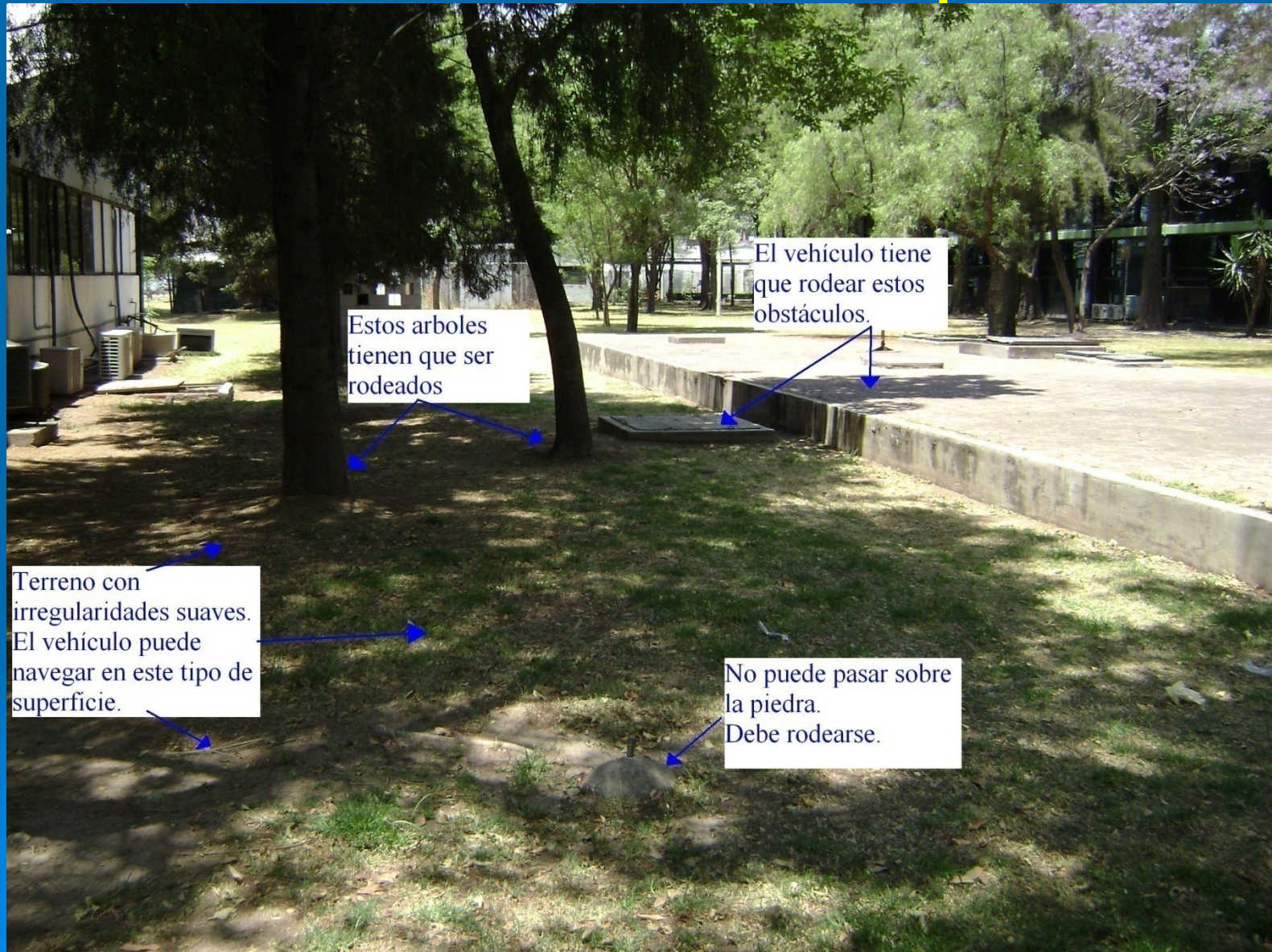
- Para la navegación autónoma en exteriores es necesario reconocer:
  - **Texturas.**
  - **Pendientes y agujeros.**
  - **Obstáculos.**

# Características de la Superficie

- Texturas que se encuentran en exteriores:
  - Tierra, pasto, piedras, etc.
- Las irregularidades son:
  - Pendientes y agujeros.
- Angulo de inclinación de irregularidades igual o menores a  $15^\circ$ .
- Angulo de inclinación de irregularidades mayores a  $15^\circ$  se consideran obstáculos.



# Características de la Superficie





# Problema a resolver (video)





# Objetivo General

- **Desarrollar un método para el diseño e implementación de navegación autónoma sobre superficies irregulares suaves.**
  - Modelar superficies en exteriores.
  - Desarrollar algoritmo para elección de rutas en superficies irregulares.
  - Simular el algoritmo de navegación sobre superficies irregulares.

# Objetivos Específicos

## I. Modelar superficies.

- Acotar el tamaño de las irregularidades a tratar del terreno que se consideran transitables.
- Modelar superficies sin cambios en la intensidad de la iluminación y bajo escala de grises.

# Objetivos Específicos

## II. Realizar el algoritmo para elegir la ruta óptima en superficies irregulares.

- Estimar la velocidad del vehículo dependiendo de las irregularidades de la superficie.
- Elegir la mejor ruta empleando el modelo obtenido en I.

# Objetivos Específicos

## III. Simular el algoritmo de elección de rutas sobre superficies irregulares.

- Simular la velocidad adaptativa.
- Simular las trayectorias sobre superficies irregulares.

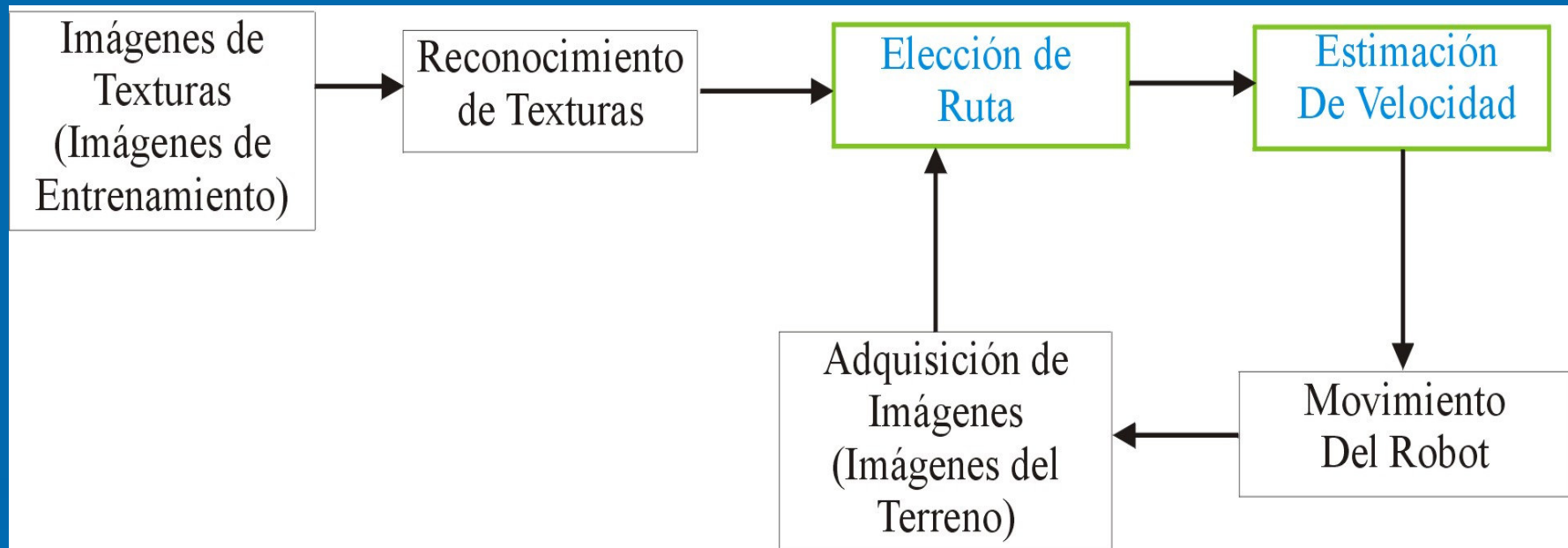


# Propuesta

# Elección de ruta y estimación de velocidad

- Detección de Irregularidades de la superficie
  - Modelado de Texturas.
- Elección de ruta considerando las características de la superficie.
- Estimación de velocidad de acuerdo a la información de la superficie.

# Diagrama de flujo



Este trabajo se enfoca a las partes que están encerradas en las cajas verdes que se muestran en la figura.

# Reconocimiento de rugosidad

- La mayoría de métodos de reconocimiento de texturas son “*rigidos*”, solo dan como resultado *falso* y/o *verdadero*.
- El ser humano **estima** la rugosidad del suelo en base a su experiencia pero sin realizar cálculos matemáticos complejos.
- El **control de la velocidad** debe ser *similar* al mecanismo que realizamos los seres humanos.



# Metodología

## Visión Artificial

- Modelado y detección de Texturas.

## Red Neuronal Supervisada

- Clasificación de Texturas.

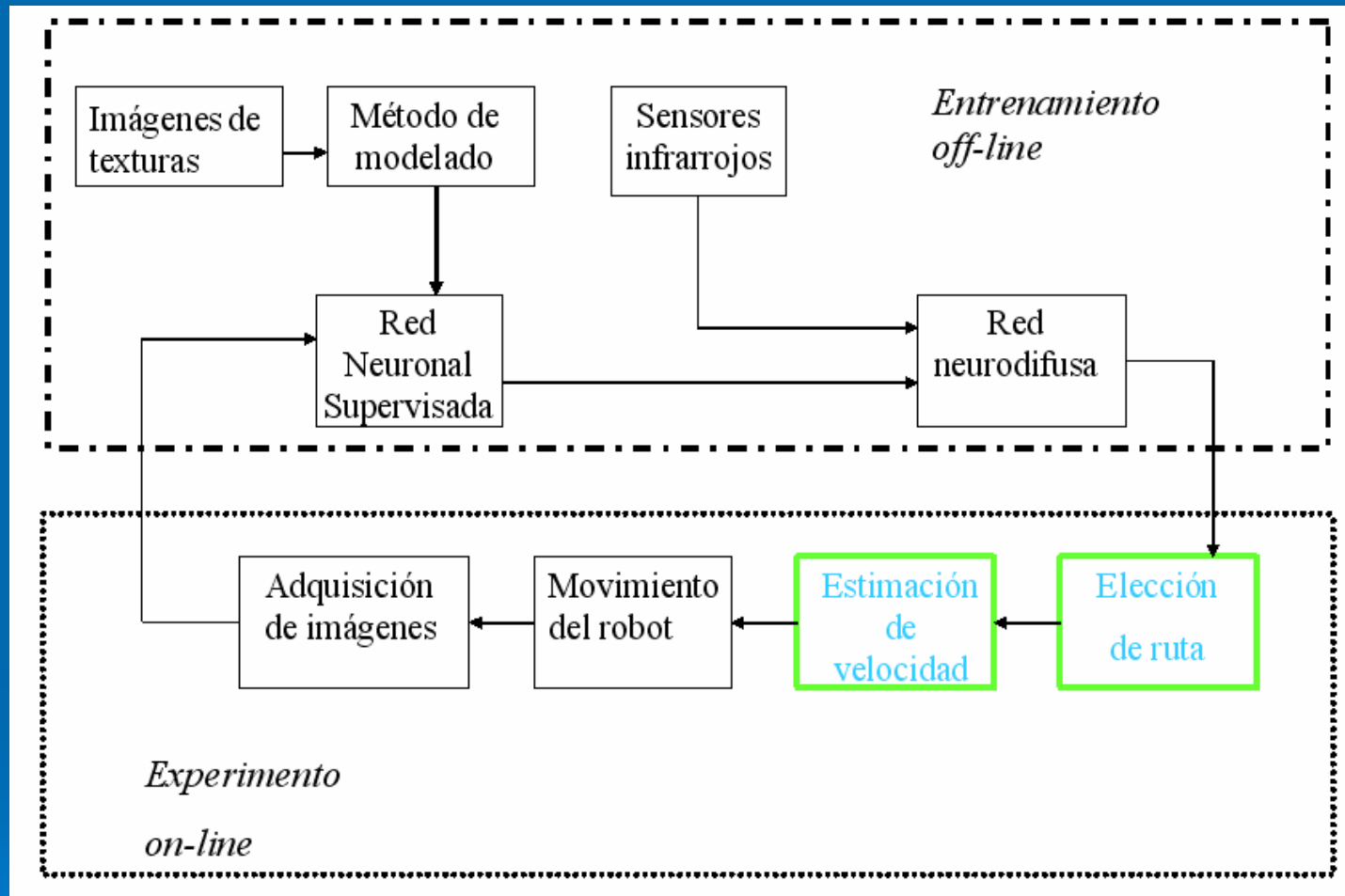
## Sensores Infrarrojos

- Detección de irregularidades.

## Red Neuronal Difusa

- Estimación de rugosidad de la textura,
- Calculo de la velocidad apropiada considerando la rugosidad del suelo y el tamaño de las irregularidades.

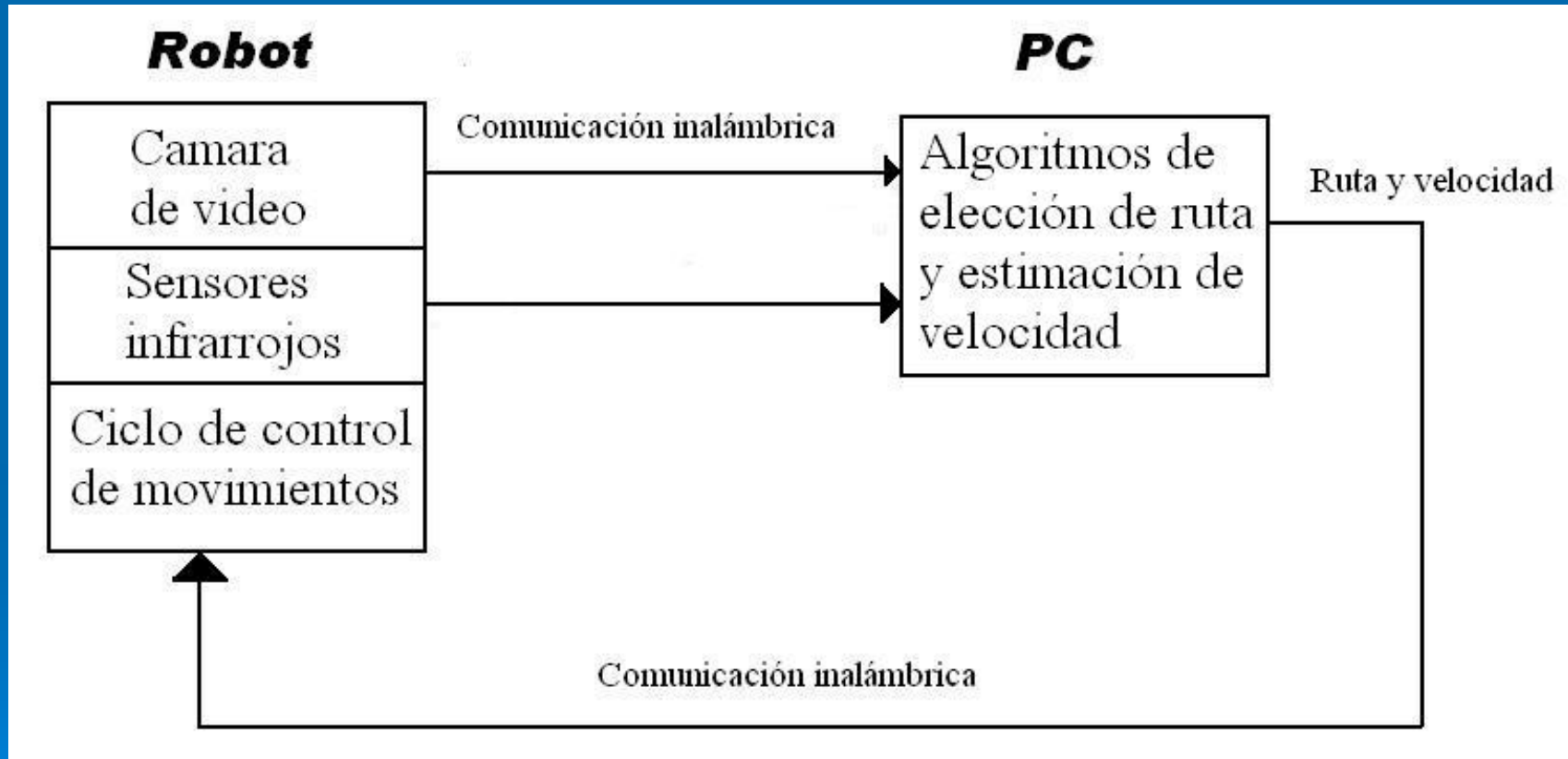
# Diagrama de flujo



Este trabajo se enfoca a las partes que están encerradas en las cajas verdes que se muestran en la figura.

# Avances

# Interacción Robot-PC





# Estimación de velocidad

- Ya se utiliza información de texturas (visión artificial):
  - de superficies con tierra, pasto y adoquín
  - Cubiertos, inclusive, con hojas y ramas.
- La información de los sensores infrarrojos no se utiliza en este momento.
- Se procura hacer las pruebas a la misma hora del día para evitar variaciones en la intensidad de la iluminación.

# Elección de la ruta

- La ruta a elegir debe ser tal que el vehículo **avance**:
  - sin riesgo de resbalar,
  - sin riesgo de atascarse,
  - los mas rápido posible dependiendo de la rugosidad y las irregularidades.
- Proporcionalmente, el desplazamiento del vehículo es:
  - A menor velocidad (*lento*) si la rugosidad es menor (*lisa*) y
  - A mayor velocidad (*rápido*) si es mayor (*áspera*).

# Mapa Virtual del Terreno

- Toma aérea de la superficie:
  - Se cuadricula la superficie.
  - Se identifican las zonas de la superficie donde se localizan las irregularidades abruptas.
- Con el cuadriculado se dibuja un mapa virtual de la superficie en cuestión.
- Facilita la elección de ruta entre dos puntos sobre la superficie.

# Reacción ante pendientes

- Si el robot encuentra una pendiente mayor a 15 grados, entonces el robot se detiene,
- Analiza las texturas que están en el lado derecho e izquierdo del robot,
- Decide moverse por el lado que le permita avanzar a mayor velocidad.

# Reacción ante agujeros

- Si el robot encuentra un agujero, entonces el robot se detiene,
- Analiza la pendiente del agujero,
- Si la pendiente es menor a 15 grados, entonces avanza sobre el agujero,

# Reacción ante agujeros

- En caso contrario, analiza las texturas que están en el lado derecho e izquierdo del robot,
- Decide moverse por el lado que le permita avanzar a mayor velocidad.

# Estimación de rugosidad

- La mayoría de métodos de reconocimiento de texturas solo dan como resultado **falso** y/o **verdadero**.
- Los seres humanos **estimamos** la rugosidad del suelo en base a nuestra experiencia pero sin realizar operaciones matemáticas.
- La **estimación de la velocidad** debe ser **similar** al mecanismo que realizamos los seres humanos.



# Herramientas formales

- **Red Neuronal Supervisada:** Clasificación de Texturas.
- **Lógica Difusa:** Modela el comportamiento de hacer ajustes rápidos durante el desplazamiento sobre superficies rugosas.
- **Red Neuronal Difusa:** Estimación de velocidad.

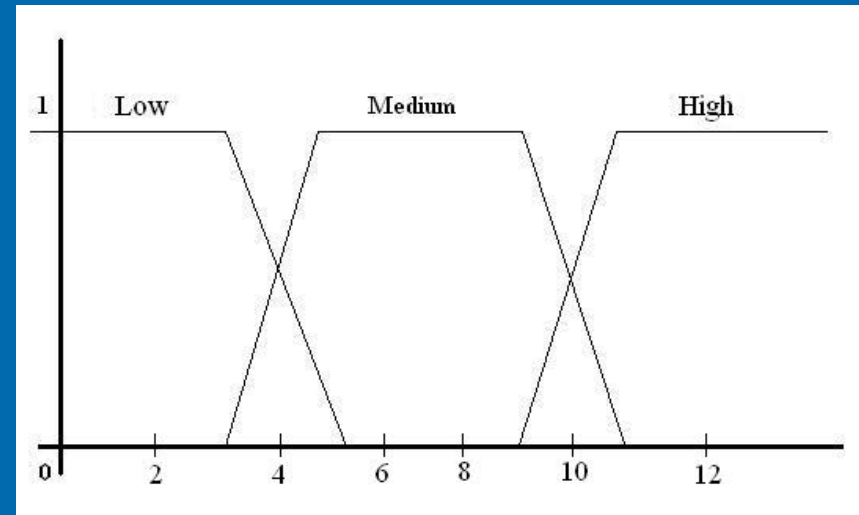
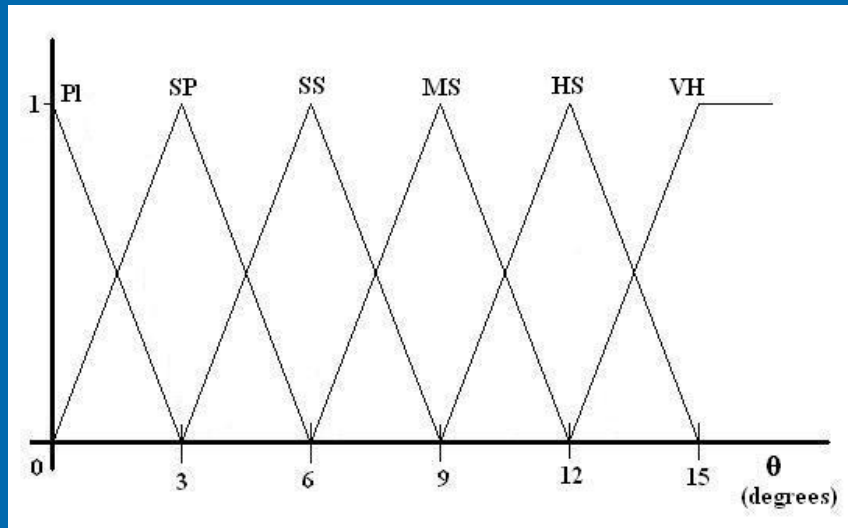
# Redes neuronales (RN)

- Son un sistema que esta ordenado de una forma que simula las células del cerebro. Estos aprenden de la relación subyacente de la información.
- Tienen capacidad del auto-aprendizaje sin la necesidad de tener conocimiento de la relación de la información.

# Lógica difusa

- Da la flexibilidad para, implementado computacionalmente, realizar *imitaciones de la percepción humana*.
- Método organizado que trata con conocimiento **impreciso** al emplear:
  - reglas lingüísticas,
  - se simula la toma de decisiones humana
  - para procesar información imperfecta.

# Conjuntos difusos



Angulo de inclinación

Rugosidad de texturas

# Conjuntos difusos

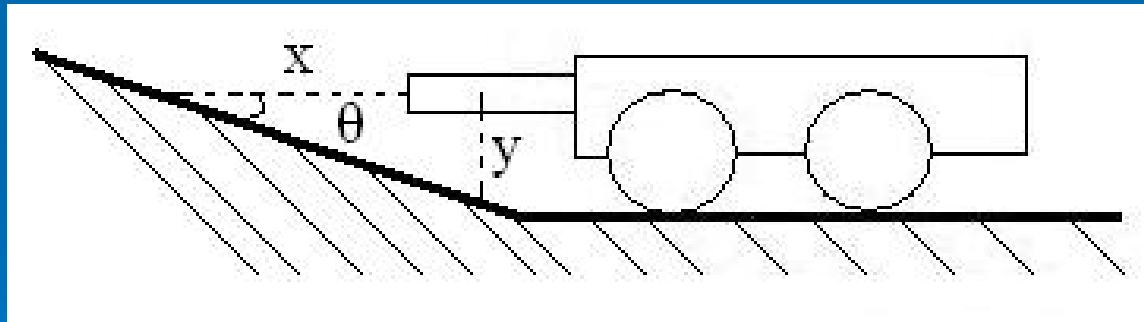
- Si se detecta que la irregularidad es una pendiente, entonces el movimiento es de “subir”.
- Si se detecta que la irregularidad es un agujero, entonces el movimiento es de “bajar”.

# Red neuronal difusa (RND)

- Tipo de red neuronal que emula el proceso de inferencia que se realiza en un sistema difuso.
- Un aspecto clave para el entrenamiento es la **organización de los datos de entrenamiento**.
- Se necesita de un **experto para ordenar las texturas** y así construir los conjuntos difusos.

# Estimación del ángulo de inclinación

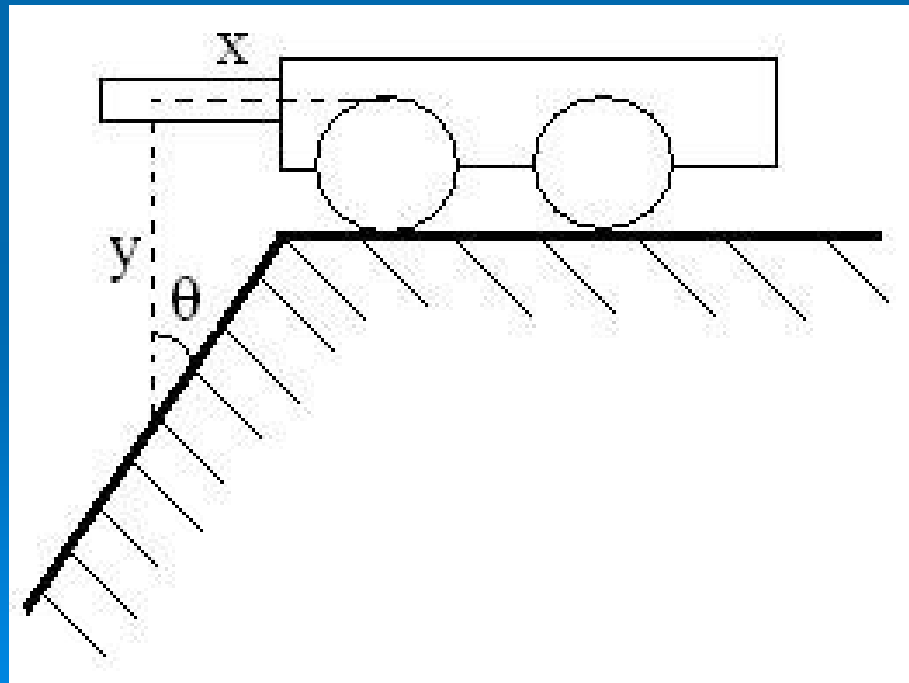
## Pendientes



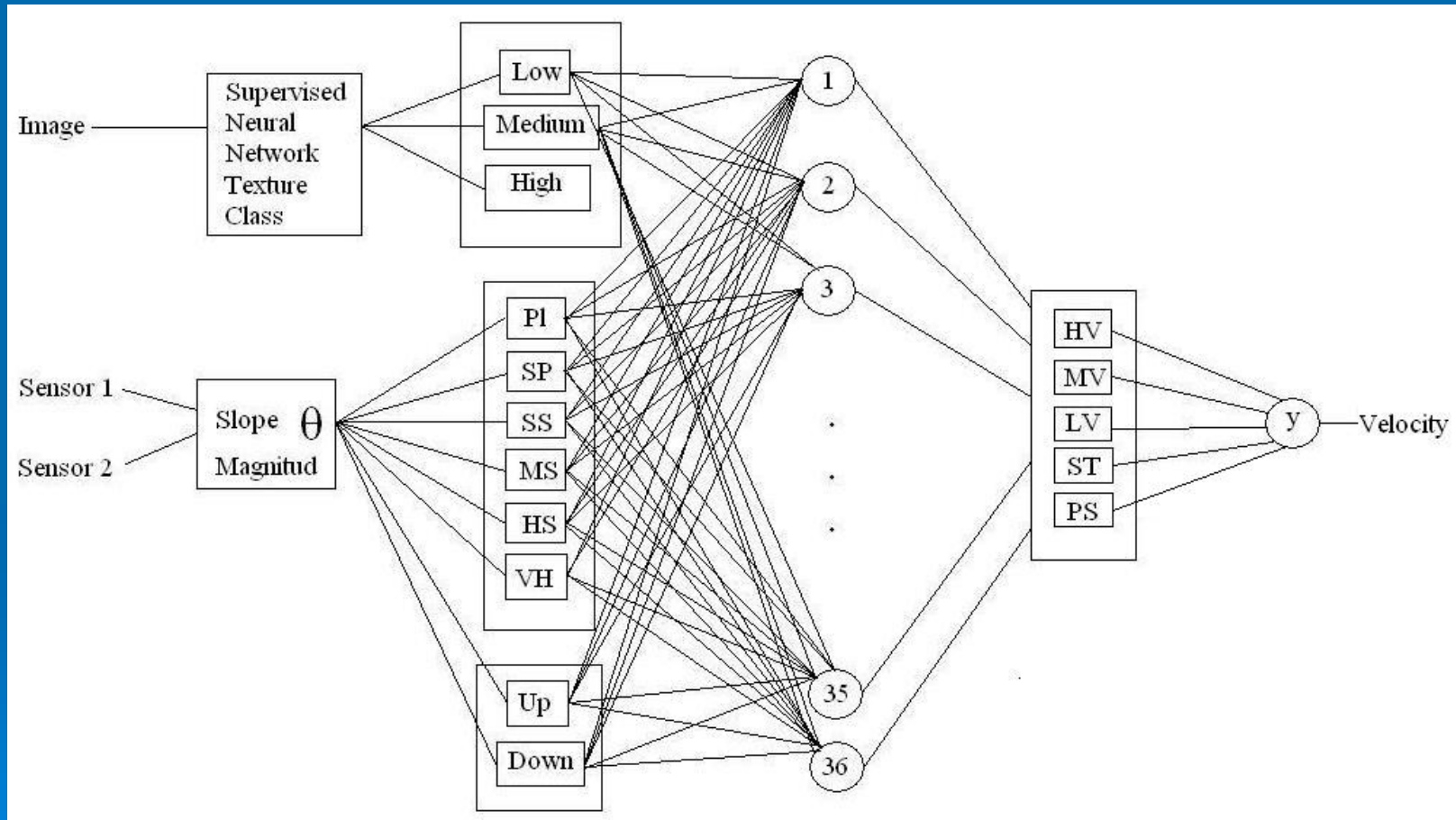


# Estimación del ángulo de inclinación

## Agujeros



# Arquitectura de la RND



# Forma general de reglas de inferencia IF-THEN

- **SI** ángulo es *moderadamente inclinado*  
Y textura es de *rugosidad alta*  
Y movimiento es hacia *arriba*  
**ENTONCES** la *velocidad* es *alta*.

# Reglas de inferencia

Entradas			Salida
<i>Angulo</i>	<i>Rugosidad</i>	<i>Dirección</i>	<i>Velocidad</i>
PI	M	D	MV
SS	H	D	MV
MS	M	U	MV
MS	L	U	LV
VH	L	D	LV

PI: Plano; SS: Ligeramente inclinado; MS: Moderadamente inclinado; HV: Muy inclinado; M: Medio; H: Alto; L: Bajo; MV: Velocidad media; ST: Detenerse; LV: Velocidad baja.

# Trabajos relacionados

(estado del arte):

# Reconocimiento de texturas

- Métodos con rayos láser (Castelnovi et al., 2005)
  - Muestreo en línea del terreno.
  - El procesamiento de la información es intenso.
- Métodos de vibración (Brooks y Iagnemma, 2005)
  - Reconocimiento en línea del terreno durante el recorrido del robot.
  - No puede anticipar a identificar el tipo de textura que esta enfrente del robot.

# Reconocimiento de texturas

- Métodos basados en descriptores o micro-textons (Zhang et al., 2007)
  - Tolerante a cambios de iluminación y ángulos de rotación respecto a algún eje.
  - **No se menciona nada** sobre el reconocimiento de **texturas nuevas** que no estén en las bases de imágenes utilizadas como benchmark.



# Clasificación de Texturas

<b>Autores</b>	<b>Porcentaje de clases identificadas</b>
Red Neuronal Supervisada	75%
Mapas Auto Organizados	85%
Lazebnik et al. (2005)	72.5%
Pietikäinen et al. (2004)	93.73%
Liao & Chung (2007)	95.8%
Crosier & Griffin (2008)	98.1%

# Control de velocidad

- Modelos cinemáticos (Song et al., 2007)
  - Evita derrapes.
  - Velocidades bajas: 2.5 cm/s.
- Robots con centro de masa móvil (Nakamura et al., 2007)
  - Mayor estabilidad.
  - Baja velocidad: 2 cm/s.
  - Difícil de controlar.

# Planeación de trayectoria

- Planificación de rutas con información global y regional del terreno (Howard et al., 2005)
  - No varia la velocidad del vehículo.
  - Se enfoca a que el vehículo llegue a su destino exitosamente.
- Campo vectorial de velocidades (Dixon et al., 2005)
  - No considera irregularidades del terreno.

# Resultados: estimación y ajuste de velocidad

- Máximas velocidades alcanzadas por el robot
  - Tierra:  $11.82 \text{ cm/s} = 7.092 \text{ m/min}$ ,
  - Pasto:  $10.07 \text{ cm/s} = 6.042 \text{ m/min}$ ,
  - Adoquín:  $5.28 \text{ cm/s} = 3.168 \text{ m/min}$ .
- El robot se atora en zonas donde el pasto esta crecido.
  - Información de los sensores infrarrojos.
  - Imágenes de pasto crecido en la fase de entrenamiento.

# Resultados

- Cambios en la velocidad del robot en una superficie que contiene:
  - tierra compacta,
  - tierra suelta,
  - pasto,
  - hojas y ramas.

# Resultados

- Desplazamiento del robot sobre superficies rugosas, tal que se evitan:
  - Derrapes
  - Atascos
  - Vibraciones
    - Con posibles riesgos de caídas

# Trabajo Futuro

- Estimar la velocidad del vehículo dependiendo de:
  - Las texturas de la superficie,
  - Los hoyos y pendientes: 3 meses.
- Elegir la ruta con información de la superficie tal que avance a máxima velocidad dependiendo de:
  - la rugosidad: 1 mes,
  - las irregularidades de la superficie: 3 meses.



# Trabajo Futuro

- Implementar la velocidad adaptiva dependiendo de:
  - Las texturas de la superficie,
  - Los hoyos y pendientes: 3 meses.
- Implementar algoritmo de selección de rutas tal que avance a máxima velocidad dependiendo de:
  - la rugosidad: 1 mes,
  - las irregularidades de la superficie: 3 meses.

# Desarrollo de objetivos

	Sep-Dic 06				Ene-Abr 07				May-Ago 07			
<b>Objetivo General:</b> Desarrollar un método para el diseño e implementación de navegación autónoma sobre superficies irregulares suaves, utilizando un sistema de visión artificial.												
Modelar superficies en exteriores.												
Desarrollar algoritmo para elección de rutas en superficies irregulares												
Simular el algoritmo de navegación sobre superficies irregulares												
<b>Objetivo Específico I:</b> Modelar superficies.												
Acotar el tamaño de las irregularidades a tratar del termo que se consideran transitables												
Modelar las superficies sin cambios en la intensidad de la iluminación y bajo escala de grises												
<b>Objetivo específico II:</b> Realizar el algoritmo para elegir la ruta óptima en superficies irregulares.												
Estimar la velocidad del vehículo dependiendo de las irregularidades de la superficie												
Elegir la mejor ruta empleando el modelo obtenido en I												
<b>Objetivo Específico III:</b> Simular el algoritmo de elección de rutas sobre superficies irregulares.												
Simular la velocidad adaptiva												
Simular las trayectorias sobre superficies irregulares												

# Desarrollo de objetivos

	Sep-Dic 08			Ene-Abr 09			May-Ago 09			Sep-Dic 09			Ene-Abr 10		
<b>Objetivo General:</b> Desarrollar un método para el diseño e implementación de navegación autónoma sobre superficies irregulares suaves, utilizando un sistema de visión artificial.															
Modelar superficies en exteriores.															
Desarrollar algoritmo para elección de rutas en superficies irregulares															
Simular el algoritmo de navegación sobre superficies irregulares															
<b>Objetivo Específico I:</b> Modelar superficies.															
Acotar el tamaño de las irregularidades a tratar del termo que se consideran transitables															
Modelar las superficies sin cambios en la intensidad de la iluminación y bajo escala de grises															
<b>Objetivo específico II:</b> Realizar el algoritmo para elegir la ruta óptima en superficies irregulares.															
Estimar la velocidad del vehículo dependiendo de las irregularidades de la superficie															
Elegir la mejor ruta empleando el modelo obtenido en I															
<b>Objetivo Específico III:</b> Simular el algoritmo de elección de rutas sobre superficies irregulares.															
Simular la velocidad adaptiva															
Simular las trayectorias sobre superficies irregulares															

# Plan de Trabajo

Actividad/Mes	May-Ago 09				Sep-Dic 09				Ene-Abr 10				May-Ago 10			
Escribir primeros capítulos de la tesis (introducción, antecedentes y resultados obtenidos).	■	■														
Incorporar información de los sensores infrarrojos para la estimación de la velocidad.	■	■														
Implementar algoritmo para elegir la mejor ruta empleando información de la superficie.			■	■												
Reportar los resultados en un artículo.				■	■											
Estancia académica en el INAOE.					■	■										
Controlar la velocidad del robot en exteriores empleando el método basado en descriptores para el modelado y reconocimiento de texturas.						■	■									
Reportar los resultados en un artículo.							■	■								
Comparar los desempeños entre los enfoques empleados para el modelado y reconocimiento de texturas.								■	■							
Reportar los resultados de comparación en un artículo.									■	■						
Concluir los últimos capítulos de la tesis.										■	■	■	■			
Defensa de tesis.														■		

# Trabajos presentados

- Conferencia: “**Concurrent Movements on Rough Surfaces**”. Segundo Taller de Robótica y Planeación de Movimientos. Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT), febrero 2008.

# Trabajos presentados

- Poster: “Surface Texture Modeled by Appearance Methods”. Semana de la Computación. CINVESTAV, septiembre 2008.
- Conferencia: “Object Tracking on Appearance-Based Modeled Soft-Irregularity Surfaces”. Consorcio doctoral. MICAI 2008, octubre 2008.

# Trabajos enviados

- Artículo: “Vehicle Speed Updating Throughout Navigation on Rough Surfaces”.  
The third International Workshop on Intelligent Vehicle Control and Intelligent Transportation Systems - IVC & ITS 2009, associated to International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO), 2009.

**Gracias:**  
preguntas y observaciones

email:  
[farid@computacion.cs.cinvestav.mx](mailto:farid@computacion.cs.cinvestav.mx)



# Referencias

- M. Castelnovi, R. Arkin and T.R. Collins, “Reactive Speed Control System Based on Terrain Roughness Detection”, *Proceedings of the IEEE International Conference on robotics and Automation*, 2005, pp. 891-896.
- C.A. Brooks and K. Iagnemma, “Vibration-Based Terrain Classification for Planetary Exploration Rovers”, *IEEE Transactions on Robotics*, 2005, pp. 1185-1191.

# Referencias

- J. Zhang, M. Marszalek, S. Lazebnik and C. Schmid, “Local Features and Kernels for Classification of Texture and Object Categories: A Comprehensive Study”, *International Journal of Computer Vision*, 2007, pp. 213-238.
- X. Song, Y. Wang, Z. Wu, C. Bu and Y. Chang, “Kinematics-Based Velocity Estimation of Lunar Rovers”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, 2007, pp. 1568-1573.

# Referencias

- S. Nakamura, M. Faragalli, N. Mizukami, I. Nakatani, Y. Kunii and T. Kubota, “Wheeled Robot with Movable Center of Mass for Traversing over Rough Terrain”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2007, pp. 1228-1233.
- W.E. Dixon, T. Galluzo and C. Crane, “Adaptive Velocity Field Control of a Wheeled Mobile Robot”, *International Workshop on Robot Motion and Control*, 2005, pp. 145-150.

# Referencias

- A. Howard, H. Seraji and B. Werger, “Global and Regional Path Planners for Integrated Planning and Navigation”, *Journal of Robotic Systems*, 2005, pp. 767-778.
- S. Lazebnik, C. Schmid and J. Ponce, “A Sparse Texture Representation Using Local Affine Regions”, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 2005, pp. 1265-1278.

# Referencias

- M. Pietikäinen, T. Nurmela, T. Mäenpää and M. Turtinen, “View-Based Recognition of Real-World Textures”, *Pattern Recognition*, 2004, pp. 313-323.
- S. Liao and A.C.S. Chung, “Texture Classification by Using Advanced Local Binary Patterns and Spatial Distribution of Dominant Pattern”, *IEEE International Conference on Acustics, Speech and Signal Processing*, 2007, pp. 1221-1224.

# Referencias

- M. Crosier and L.D. Griffin, “Texture Classification with a Dictionary of Basic Image Features”, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2008, pp. 7-13.