

# Metodologías para el estudio de desarrollo de software por medio de Robots Móviles

Alonso, Carlos Daniel; Osio, Jorge Rafael; Morales Daniel Martín  
Universidad Nacional Arturo Jauretche, Instituto de Ingeniería, Florencio Varela

## Abstract.

*Este trabajo presenta una metodología de enseñanza orientada a alumnos de nivel medio que estén dando sus primeros pasos en la programación de Software. Para ello se propone el uso de Robots Móviles del tipo educativo, (diseñados por parte del grupo investigador), los cuales puedan ser programados fácilmente en Lenguaje C.*

*Los Robots están basados en microprocesadores Cortex M0 programable en lenguaje de alto nivel y mediante el cual se tiene acceso a los distintos periféricos, como sensores y actuadores, que permiten al robot avanzar, girar y detectar obstáculos de diferentes maneras.*

*El docente plantea situaciones problemáticas que deberá resolver el Robot, esto implica la implementación de Algoritmos de Control por parte de Alumnado.*

*Para que el método sea aplicable los Robots deben poseer ciertas características especiales, como versatilidad, confiabilidad, dimensiones acotadas, facilidad en su programación y de bajo coste para que todos tengan la posibilidad de acceder a él.*

*Este método se considera apropiado, teniendo en cuenta el contenido a enseñar y la necesidad de incluir en la enseñanza la Programación de Sistemas Embebidos basados en Sistemas Procesadores, sobre todo en las carreras técnicas y tecnológicas.*

*Como resultado de la aplicación del método se pretende que el alumno desarrolle y mejore sus habilidades en la generación de software, teniendo a la vez un primer acercamiento al mundo de la Robótica.*

**Palabras Clave:** Robots Móviles, Sistemas Embebidos, Programación de alto nivel, Metodologías innovadoras, Estrategias Educativas, Extensión Universitaria, Sistemas de Control.

## Introducción

Para poner en práctica la metodología propuesta el docente deberá comenzar por enseñar el lenguaje de programación de alto nivel C.

Los alumnos deben adquirir un nivel mínimo en el desarrollo de software para poder generar algoritmos simples. Hasta este momento se procede con una

metodología de enseñanza tradicional, es decir, teorías y prácticas convencionales.

Una vez adquirido un nivel de programación mínimo se puede introducir en las prácticas el uso de robots y por ende la nueva metodología de enseñanza. Es esta instancia, el docente plantea para la práctica diferentes situaciones problemáticas que deberán ser resueltas por el alumno, mediante la programación de rutinas de control a ser ejecutadas de manera autónoma por el dispositivo didáctico.

A continuación se enuncian algunas situaciones problemáticas a resolver:

- **Resolución de un laberinto:** En este caso el Robot de coloca en la entrada de un laberinto. El mismo debe desplazarse de manera autónoma por los pasillos del laberinto hasta encontrar la salida del mismo.
- **Robot seguidor de líneas:** Un robot seguidor de líneas es aquel que posee la capacidad de seguir una línea marcada en el suelo. En general una línea de color negro sobre un piso de color blanco. Dicha línea se utiliza a modo de camino marcado al cual el robot debe seguir lo más fielmente posible.
- **Robot seguidor de luz:** Un robot seguidor de luz es aquel que se desplaza por una superficie lisa siguiendo una fuente de luz intensa que lo guía. En general esta fuente de luz es la emitida por una fuente de luz de uso común.
- **Robot guiado por sonido:** Este robot se comporta de manera similar al anterior, pero en este caso el robot persigue una fuente sonora que emite un tono a una frecuencia

determinada. A medida que esta fuente se mueve de posición el robot responde desplazándose hasta la nueva posición de la fuente sonora. El tono emitido por la fuente sonora puede ser audible o de ultra sonido.

Se pueden pensar en diversas situaciones problemáticas que puedan ser resueltas por el robot, pero para que el mismo sea capaz de ejecutarlas debe poseer ciertas características específicas, el Sistema propuesto para esta metodología de enseñanza es móvil del tipo educativo.

Los robots móviles son aquellos que poseen la capacidad de desplazarse de un lugar a otro por sus propios medios. Existen distintos tipos entre los móviles. De distinto tamaño, sistemas de locomoción costo y aplicación.

Los robots del tipo educativo son de bajo costo y dimensiones muy reducidas. Estos, suelen ser móviles, diseñados para uso en ambientes interiores. Pueden desplazarse solo en superficies lisas y regulares, habitualmente mesas o tableros.

#### *Características*

---

- Bajo Costo
- Capacidad de desplazamiento
- Versatilidad
- Equipados con diversos sensores y actuadores los cuales permiten resolver diferentes situaciones problemáticas

#### *Requerimientos*

---

- Debe ser fácil de programar, soportan diversos lenguajes de programación.
- Debe ser robusto y confiable.

#### **Elementos del Trabajo y metodología**

Para comprender mejor la metodología propuesta se describirá a continuación la

lógica de razonamiento que debería aplicar el alumno para resolver el problema del laberinto.

Para acotar el problema, el docente deberá fijar algunas características particulares que deberá poseer el laberinto.

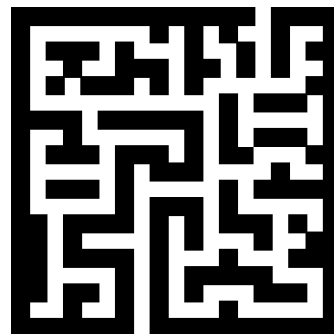
Para favorecer el desplazamiento del robot en el laberinto, la superficie sobre la que se desplazará será lisa y plana, sin imperfecciones que dificulten el avance del mismo.

Las paredes del laberinto tendrán una altura superior a la del robot.

Todas las paredes sin excepción formarán ángulos rectos en las esquinas.

El ancho de las paredes del laberinto será suficiente como para que el robot no vea impedido su desplazamiento por el mismo.

En la *Figura 1* se observa un posible laberinto que cumple con los requerimientos planteados.



*Figura 1: Modelo de laberinto*

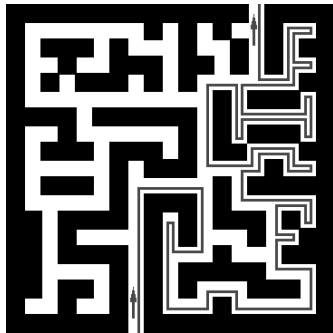
#### *Algoritmo de resolución:*

Como en todo problema de cómputo, la resolución de un laberinto no posee una única solución. Se describirá a continuación una forma de resolución determinística, es decir que el robot en todos los casos encontrará la salida del laberinto, siempre y cuando este cumpla con las condiciones descriptas anteriormente. A continuación, se describirá un posible algoritmo de resolución para la situación planteada haciendo una breve analogía con un laberinto real.

Suponiendo que una persona se encuentra en la entrada de un laberinto, por ejemplo la entrada inferior del laberinto de

la **Figura 1** La persona tiene los ojos vendados. Con su mano derecha toca la pared del laberinto. Luego comienza a caminar dentro del laberinto, sin dejar de tocar con esta mano la pared del mismo. Como resultado la persona recorrerá los pasillos del laberinto hasta encontrar la salida del mismo. La ruta generada por el algoritmo es la marcada en la

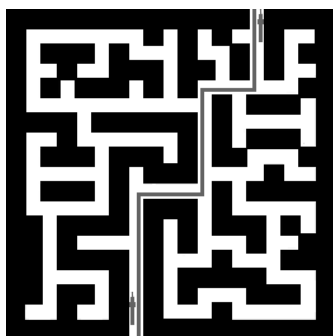
**Figura 2.**



**Figura 2:** Algoritmo propuesto

Es notable que cualquiera sea la forma que posea el laberinto, con la implementación de este algoritmo siempre se llegará a la resolución del problema. No obstante, este algoritmo en general no produce la mejor solución. La solución óptima es la mostrada en la

**Figura 3.**



**Figura 3:** Camino óptimo

**Construcción del robot:**

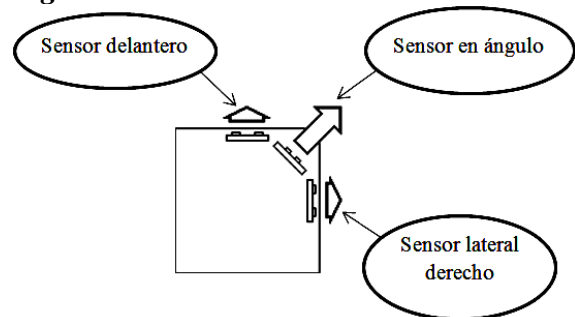
La construcción del robot no es ajena al algoritmo implementado. Para la implementación de este algoritmo son necesarios un mínimo de tres sensores de distancia. Existen distintos tipos de sensores de distancia, pero en la

construcción del robot se utilizaron sensores de ultrasonido.

**Distribución de los sensores:**

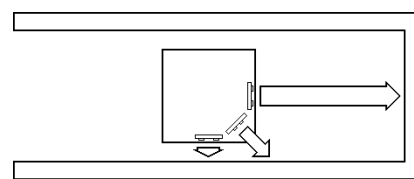
El robot posee un sensor de distancia en la parte delantera, uno en la esquina delantera derecha y otro en el costado derecho. La ubicación de los sensores en el robot se puede apreciar esquemáticamente en la

**Figura 4**



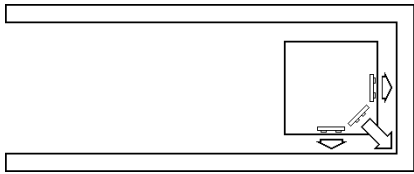
**Figura 4:** Modelo del robot

Suponiendo que el robot se encuentra en un pasillo del laberinto como el que se muestra en la **Figura 5**, como se observa el robot está orientado con el frente hacia la derecha de la figura. La dirección de desplazamiento del robot es hacia la derecha, con el sensor frontal se puede medir que tan lejos se encuentra la pared en el fondo del pasillo. Con el sensor en ángulo y el sensor lateral se mide la distancia a la pared inferior de la figura. Por último, con el sensor lateral derecho del robot se logra mantener el robot paralelo a la pared inferior del laberinto.



**Figura 5:** Robot en pasillo cerrado, desplazamiento a derecha

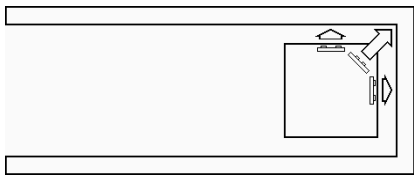
Cuando el sensor frontal mide la distancia mínima a la pared de la derecha el robot se detiene, ya que tiene que dar un giro, debido a que todo indica que llegó a un camino cerrado, en la **Figura 6** se ilustra



**Figura 6:** Robot detenido a la mínima distancia a la pared derecha

En la

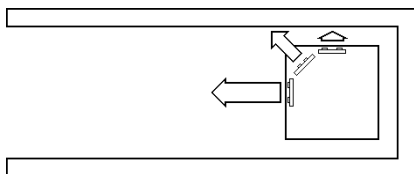
**Figura 7:** Giro de 90 grados del robot en sentido anti horario se observa la posición de los sensores luego del giro del robot en el fondo del pasillo.



**Figura 7:** Giro de 90 grados del robot en sentido anti horario

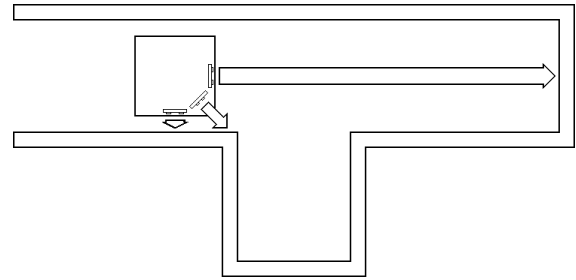
Como los sensores luego del último giro vuelven a medir y encuentran un camino cerrado, el robot debe dar otro giro de 90 grados en sentido anti horario. Al completar el giro el robot se desplaza hacia la izquierda, esta situación es ilustrada en la

**Figura 8:** giro de 90 grados del robot en sentido anti horario.



**Figura 8:** giro de 90 grados del robot en sentido anti horario

A continuación se analizará una bifurcación en el laberinto, se puede observar esta bifurcación en la **Figura 9:** Bifurcación.

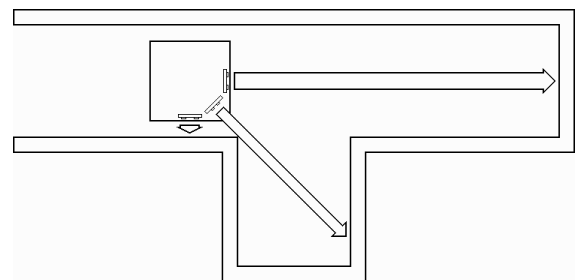


**Figura 9:** Bifurcación

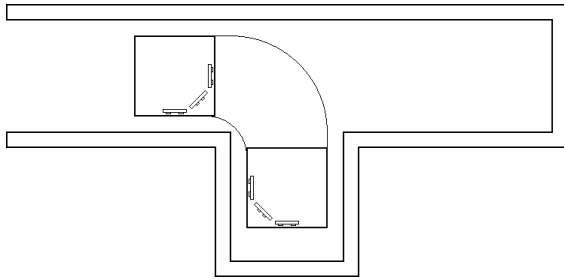
El propósito de que el robot posea un sensor en ángulo en el frente del mismo es para poder anticipar una bifurcación en el corredor del laberinto. Si el robot se encuentra en un pasillo, las mediciones realizadas por el sensor en ángulo se encontrarán muy próximas una de otra, y serán de módulo pequeño. En el momento en el que se encuentre con una bifurcación la distancia medida será considerablemente más grande en magnitud, en comparación con las realizadas en un pasillo cerrado, es por este motivo que se puede medir este salto y anticipar la bifurcación en el pasillo.

Este salto se ve ilustrado en la **Figura 9:** Bifurcación y en la **Figura 10:** Medición del sensor en ángulo ante una bifurcación. En esta última, se observa que la medición realizada es considerablemente mayor que en la **Figura 9:** Bifurcación.

En la **Figura 11:** Giro del robot ante una bifurcación se puede observar esquemáticamente como quedaría ubicado el robot luego de realizar el giro en una bifurcación.



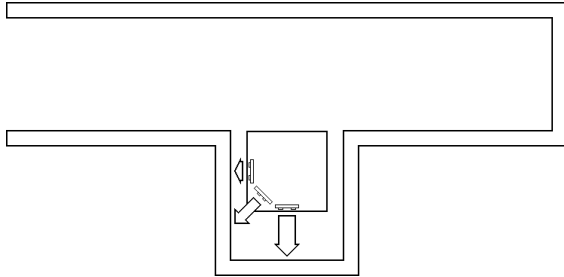
**Figura 10:** Medición del sensor en ángulo ante una bifurcación



**Figura 11:** Giro del robot ante una bifurcación

En la **Figura 12:** El robot toma la bifurcación se puede observar que el robot queda en la misma situación que en la

**Figura 5:** Robot en pasillo cerrado, desplazamiento a derecha, por lo tanto se procede de la misma manera.



**Figura 12:** El robot toma la bifurcación

Para resolver el laberinto sólo es necesario que el robot repita permanentemente el algoritmo explicado. Además, con los tres sensores es suficiente para que el robot resuelva la situación problemática planteada.

#### *Control On-Off:*

El sistema de control ON/OFF, es la forma más simple de control realimentado para seguimiento de una variable. Este método de control solo acepta dos posiciones para el actuador, encendido (100%) y apagado (0%). La lógica de funcionamiento es tener un punto de referencia (o Set Point), si la variable a controlar es mayor que el punto de referencia el actuador se apagará, si la variable de control es menor que el punto de referencia el actuador se encenderá.

Es de uso común la abreviatura SP cuando se hace referencia al Set Point de una variable, es por este motivo que se utilizará de aquí en más dicha abreviatura.

#### *Ventajas del control On-Off:*

- Es la forma más simple de control realimentado
- Bajo costo de instalación
- Requiere poco mantenimiento
- Muy utilizado en procesos que requieran poca precisión

#### *Desventajas del control On-Off:*

- Mínima precisión
- No es recomendable su uso en procesos de alto riesgo

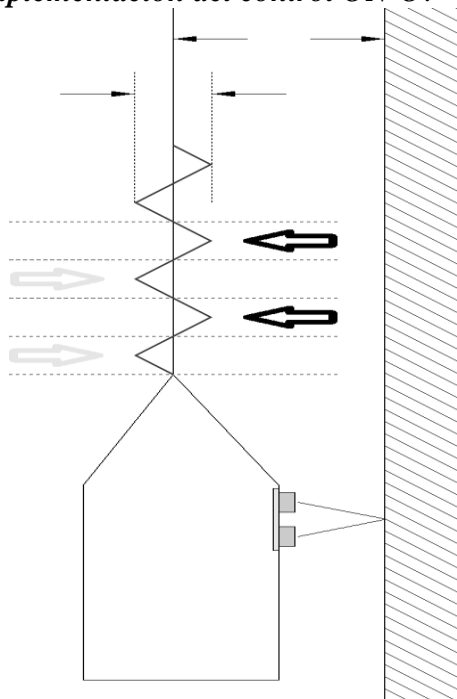
El primer tipo de control implementado en el robot fue un control ON/OFF. Se seleccionó este control como el primero a ser implementado por su sencillez y por el corto plazo que demanda su implementación.

Como se explicó anteriormente, el sensor lateral derecho del robot se utiliza para que el robot se mantenga paralelo a las paredes del laberinto. Cuando el robot transita por un pasillo en el laberinto este toma constantemente medición de la distancia a la pared e intenta mantenerse a una distancia constante de esta.

Esta situación se ilustra en la **Figura 13: Implementación del control ON-O**. Se observa en la figura que el robot está ubicado paralelo a la pared del laberinto. También que el sensor de distancia está enfrentado a la pared del lado derecho. En el centro del gráfico se encuentra dibujada una línea negra que representa la distancia que se desea mantener constante mientras el robot avanza por el laberinto. Dicha línea no es más que una representación del SP fijado, que para esta aplicación es de 9 Cm.

Cuando el robot se aleja de la pared se debe aplicar una acción correctiva haciendo girar con mayor velocidad el motor del lado izquierdo del robot, este giro se ve ilustrado por la flecha azul de la **Figura 13: Implementación del control ON-O**. Por otro lado si el robot se acerca a la pared se debe hacer girar con mayor velocidad el

motor del lado derecho, este giro se ve ilustrado por la flecha roja de la **Figura 13: Implementación del control ON-O.**



**Figura 13: Implementación del control ON-OFF**

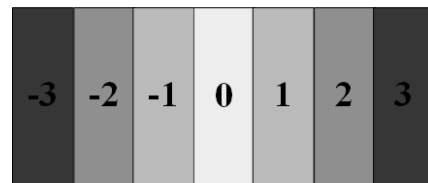
#### Control por zonas:

Consideremos por un momento un sistema de siete zonas como el que se muestra en la **Figura 14: Sistema de siete zonas**. El SP del sistema se fija en medio de la zona 0. Las fronteras entre las zonas 0, 1 y -1 son equidistantes entre sí. Mientras que la variable medida se encuentre dentro de la zona 0, el sistema no realizará ningún tipo de corrección.

En cuanto la variable medida traspase alguna de las dos fronteras centrales, la corrección realizada será correctiva según corresponda a izquierda o derecha. La intensidad de la corrección en este caso será muy baja, esto debido a que con un leve aumento en la velocidad de giro de los motores será suficiente para hacer volver al sistema a la zona central.

El resto de las zonas funcionan de manera análoga a la central. Si la variable medida cae dentro de la zona 2 o -2 se actuará con mayor intensidad que en la zona 1 y -1. Del mismo modo si la variable medida cae dentro de la zona 3 o -3, se debe

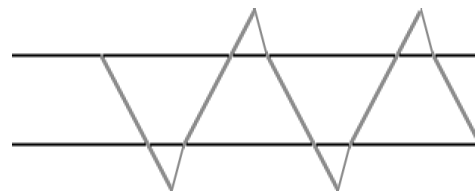
actuar con una intensidad mayor que en la zona 2 y -2 ya que la variable se encuentra muy lejos de la zona central y por ende del SP fijado.



**Figura 14: Sistema de siete zonas**

La cantidad de zonas que posee el sistema es de elección arbitraria. La implementación de un sistema como este puede ser por medio de una máquina de estados finita y determinística. Cada zona puede ser representada por un estado en la máquina. El primer control de este tipo implementado en el robot fue de tres zonas, una central y dos laterales.

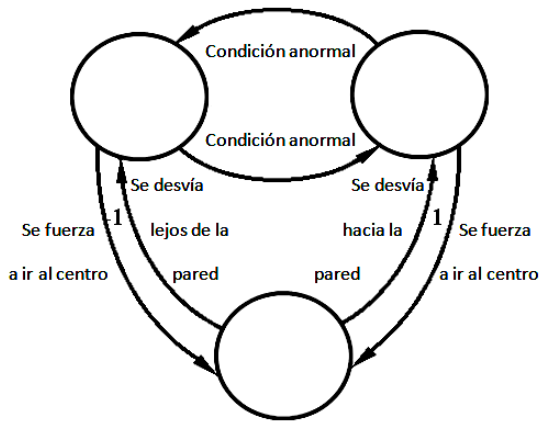
En la **Figura 15: Sistema de control de tres zonas** se ilustra la trayectoria que tomaría el robot si estuviera programado con un sistema de control de tres zonas. Como se puede observar, cuando el robot cruza la frontera entre la zona 0 y la 1 por causa de la inercia el sistema realiza una acción correctiva forzando a volver al robot a la zona central. De modo análogo ocurre cuando el robot cruza de la zona 0 a la -1.



**Figura 15: Sistema de control de tres zonas**

El sistema de control implementado en el robot es un sistema de control de tres zonas. La implementación de este control se realizó por medio de una máquina de estados finita de tres estados, uno por cada zona.

En la **Figura 16: Máquina de estados** se puede observar la máquina de estados implementada en el robot.



**Figura 16:** Máquina de estados

**Resultados**

El sistema de control ON/OFF es relativamente sencillo, pero se puso de manifiesto una de las principales desventajas de este tipo de control. Esta desventaja consiste en que cuando se realiza una corrección para acercarse al SP fijado el sistema adquiere una determinada inercia debido a la velocidad con la que se mueve el robot, produciéndose un movimiento de oscilación permanente e indeseable en el extremo frontal del robot. Esta oscilación se ve ilustrada por la línea verde de la **Figura 13: Implementación del control ON-O**. Esta línea describe la trayectoria seguida por el robot en su avance por el laberinto. En la implementación real del sistema de control ON/OFF esta oscilación llegó a ser de hasta 2 Cm aproximadamente. Es por este motivo que se decidió buscar otra solución diferente al controlador ON/OFF para ser implementada como sistema de control.

El sistema de control por zonas fue finalmente el más acertado en el robot. Con este algoritmo de control se logró disminuir totalmente el efecto de las oscilaciones producidas por el control ON/OFF, obteniendo una buena respuesta a variaciones grandes en la variable medida.

**Discusión**

La implementación de los dos métodos anteriores provee herramientas didácticas suficientes como para formalizar un curso

Educativo para Colegios Industriales, mediante un plan de Extensión Universitaria que provee Material interesante para potenciar la creatividad del Alumno y el interés hacia el diseño e innovación tecnológica.

Cabe aclarar que los primeros pasos del Alumno con estas herramientas se corresponden con la implementación de un programa que provea al robot la posibilidad de avanzar, detenerse y girar. Luego debería pasar a un segundo nivel de programación, determinando la existencia de obstáculos mientras el robot se está trasladando, esto implica aplicar las acciones mencionadas previamente en cada parte del laberinto, en donde las características de los obstáculos son diversas. Por último, se busca que el alumno comprenda y logre implementar los dos algoritmos propuestos, descubriendo por su cuenta las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos. Esto proveerá herramientas suficientes para iniciar al alumno en el mundo de la robótica mediante la implementación de algoritmos.

Esta metodología fue aplicada, mediante un grupo de estudiantes universitarios sin conocimiento previo de robótica, arrojando resultados positivos en cuanto a la implementación de los algoritmos y a la obtención de resultados que pongan en evidencia las ventajas y desventajas de cada uno de los mismos.

**Conclusión**

Luego de planificar y materializar la propuesta, se descubrió que la potencialidad didáctica de las herramientas desarrolladas superaba las expectativas. La propuesta no solo resultó interesante para generar material didáctico, sino también para provocar interés y grandes expectativas en alumnos que no tenían conocimientos previos de robótica.

Este método tuvo un plus inesperado luego de la implementación de los algoritmos, al motivar al alumno a sacar conclusiones y descubrir el porqué de las ventajas y desventajas de ambas propuestas.

## Referencias

Silva M., 1984. "Curso de introducción y aplicaciones de la robótica". Primer Salón internacional de tecnología y aplicaciones de la robótica, Zaragoza, 1984.

Jamshidi M. y PJ Eicker (editores), 1993. "Robotics and Remote Systems for Hazardous Environments". Prentice Hall Series on Environmental and Intelligent Manufacturing Systems. Prentice Hall.

Ollero A., Arrue B.C., Ferruz J., Heredia G., Cuesta F., L-Pichaco F. y Nogales C., 1999. "Control and perception components for automation vehicle guidance. Application to the Romeo vehicle". Control Engineering Practice. Vol. 7, núm 10. Octubre. Pp 1291-1299.

Ollero A. y otros, 1995. "The autonomous robots for spraying Aurora". Proc. Of the IARP Conference on Robotics in the Agriculture and the Food Industry. Pp. 193-198. Toulouse, France,

Ollero A. y E.F. Camacho, 1993. "Intelligent Components and Instruments for Control Applications". Pergamon Press.

## Datos de Contacto:

*Alonso Carlos Daniel.*  
*Universidad Nacional Arturo Jauretche.*  
*Instituto de Ingeniería-Ingeniería Informática.*  
*Av. Calchaquí 6200, Florencio Varela, Argentina.*  
[alonsocd2006@gmail.com](mailto:alonsocd2006@gmail.com)