

# SIMUROB. SIMULADOR DEL ROBOT IRB-1400

Autores: Marina Beltrán Blanco, Jorge J. Feliu Batlle y José Manuel Cano Izquierdo  
Dirección: Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática. ETSII (Universidad Politécnica de Cartagena)  
c/ Doctor Fleming s/n Cartagena 30202 (Murcia)  
email: [marinabb28@hotmail.com](mailto:marinabb28@hotmail.com); [jorge.feliu@upct.es](mailto:jorge.feliu@upct.es); [josem.cano@upct.es](mailto:josem.cano@upct.es)

## Resumen

*SimuRob es un simulador bajo Windows del robot antropomórfico IRB-1400. Dicho robot es el empleado en la ETSII de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) para sus clases de prácticas. El programa SimuRob, realizado en Visual C++, permite a los alumnos aprender el manejo del robot y la programación de sus movimientos, el conocimiento en profundidad de su cinemática directa e inversa, alineación de ejes, configuraciones singulares, etc.*

**Palabras clave:** simulador, robot, programación, docencia.

## 1 INTRODUCCIÓN.

El robot IRB-1400 es un robot antropomórfico de 6 grados de libertad empleado en la industria de la automoción para tareas de soldadura, recubrimientos, manipulación de objetos, etc. Actualmente la UPCT cuenta con uno para tareas docentes.

La forma más sencilla de programar el robot es mediante una consola que lleva incorporado [2], por tanto condiciona que no pueda haber más de un usuario trabajando con él.

Debido a ello surge el programa SimuRob, realizado como Proyecto Fin de Carrera [12] y que permite el acceso simultáneo de los alumnos a un robot virtual que emula el comportamiento del robot IRB-1400 (figura 1).

El simulador ha sido elaborado en Visual C++, y permite el conocimiento en profundidad de los aspectos más relevantes relativos a la programación del robot, siendo una de sus características principales la incorporación de una consola virtual (Figura 2) que imita a la del IRB-1400.

En la actualidad existen diferentes simuladores, unos de tipo comercial y otros no. Los primeros adolecen de ciertas deficiencias como por ejemplo que son programas cuyo manejo no es intuitivo, no están enfocados a la docencia, ninguno presenta un joystick 3D y su código no es abierto, no pudiendo adaptarse a posibilidades nuevas. Por otra parte entre los no comerciales se ha visto que presentan parpadeos a cada movimiento del robot, no

teniendo la calidad de representación gráfica suficiente para ser atractiva a los alumnos. Ejemplos de lo expuesto son:

- Move Master Mitsubishi Simulator [6]
- SimRobot [11]
- Camelot [4]
- EasyRob [5]
- Robot3D [10]
- RoboSim [9]
- QuickTeach [8]

SimuRob soluciona estas deficiencias y permite programar movimientos y trayectorias que a posteriori pueden ser ejecutados en el robot real. En este sentido el simulador incluye herramientas virtuales como pinzas y pistola de soldadura que permiten operar de forma similar a cómo lo haría el robot IRB-1400.

El código de SimuRob es abierto y accesible a los programadores, siendo posible crear nuevos robots, montar una pequeña célula de fabricación flexible, probar nuevos algoritmos en la generación de trayectorias, etc.

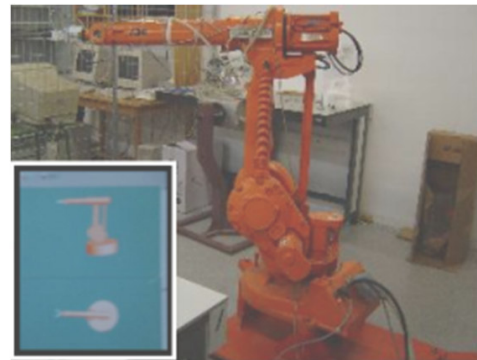


Figura 1: Robot IRB-1400 y robot virtual.

En el presente trabajo se abordarán los aspectos relativos al robot IRB-1400 que han sido considerados en el diseño del simulador así como las características más importantes de éste.

El artículo está estructurado en cuatro apartados: el primero corresponde a esta introducción, en el segundo se describe la cinemática (directa e inversa) del robot IRB-1400, en el tercero se describen las principales características del

simulador SimuRob y por último en el cuarto se exponen las conclusiones.



Figura 2: Consola virtual de programación

## 2 SISTEMA FÍSICO

El robot IRB 1400 es un robot industrial de 6 ejes diseñado por la casa ABB Robotics AB, especialmente diseñado para tareas de soldadura y manipulación de objetos en ciclos rápidos de trabajo. El robot ha sido concebido como una estructura abierta capaz de establecer comunicación con sistemas externos, con la finalidad de formar parte de células de fabricación flexibles.

El IRB 1400 está equipado con el sistema operativo BaseWare OS [1], que controla todos los aspectos del robot, tales como el control de movimientos, desarrollo y ejecución de programas de aplicación, comunicación, etc. Este sistema operativo se localiza en las tarjetas de su armario controlador S4. Los movimientos que puede ejecutar el robot son los que se resumen a continuación:

Eje	Movimiento angular	
1	170°	-170°
2	70°	-70°
3	70°	-65°
4	150°	-150°
5	115°	-115°
6	300°	-300°

Tabla 1: Alcance de movimientos del robot.

### 2.1 CINEMÁTICA DEL ROBOT

La cinemática del robot estudia el movimiento del mismo con respecto a un sistema de referencia. Así la cinemática se interesa por la descripción analítica del movimiento espacial del robot como una función del tiempo y en particular por las relaciones entre la posición y la orientación del extremo final del robot con los valores que toman sus

coordenadas articulares. Existen dos problemas fundamentales a resolver en la cinemática del robot. El primero de ellos se conoce como el problema cinemático directo [3] y consiste en determinar, conocidos los valores de las articulaciones, cuál es la posición y orientación del extremo final del robot con respecto a un sistema de coordenadas que se toma como referencia. El segundo, denominado problema cinemático inverso [3] resuelve la configuración que debe adoptar el robot para que su extremo alcance una posición y orientación conocida.

#### 2.1.1 Cinemática directa del IRB 1400

Un robot manipulador puede considerarse una cadena cinemática formada por objetos rígidos o eslabones unidos entre sí mediante articulaciones. Se puede establecer un sistema de referencia fijo situado en la base del robot y describir la localización de cada uno de los eslabones con respecto a dicho sistema de referencia.

Las herramientas matemáticas que se han utilizado para describir la configuración del robot son las matrices de transformación homogéneas, los cuaternios y el algoritmo de Denavit-Hartenberg [3]. En la Tabla 2 se muestran los parámetros de Denavit-Hartenberg asociados a la cinemática directa del robot IRB-1400. En la Figura 3 se puede observar el esquema de situación de ejes en el robot.

i	Parámetros			
	$\theta_i$	$d_i$	$a_i$	$\alpha_i$
1	$\theta_1+90^\circ$	475	150	$90^\circ$
2	$\theta_2+90^\circ$	0	600	0
3	$\theta_3$	0	120	$90^\circ$
4	$\theta_4$	720	0	$-90^\circ$
5	$\theta_5$	0	0	$90^\circ$
6	$\theta_6$	85	0	0

Tabla 2: Tabla de Denavit-Hartenberg correspondiente al IRB-1400

#### 2.1.2 Cinemática inversa

El objetivo de la cinemática inversa, consiste en encontrar los ángulos que deben girar las articulaciones del robot para que su extremo se posicione y oriente de una forma determinada.

La solución de la cinemática inversa del robot se ha obtenido aplicando el método del desacople cinemático en el cual primero se resuelve para los tres primeros ejes (los que posicionan) y posteriormente para los tres finales (los que orientan).

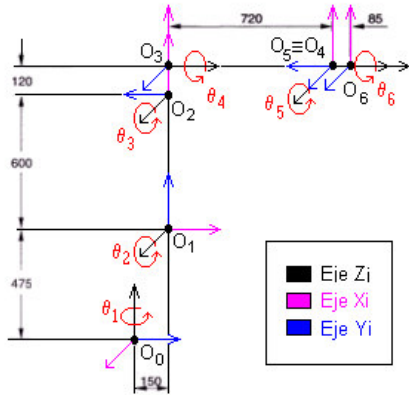


Figura 3: Situación de articulaciones en el robot IRB-1400

La cinemática inversa que emplea SimuRob está implementada en una función C++. Dicha función puede ser modificada por futuros programadores.

### 3 SIMUROB

Como se ha mencionado en el apartado 1, la consola de programación del robot IRB-1400 solamente permite ser manejada por una persona, lo cual no resulta práctico para la docencia.

Para agilizar las clases surge el programa SimuRob, permitiendo el acceso simultáneo de todos los alumnos al manejo del robot virtual de manera análoga al manejo del robot en la realidad. El programa realizado en Visual C++ consta básicamente de una consola de programación, un robot virtual y una zona de edición de programas (figura 4).

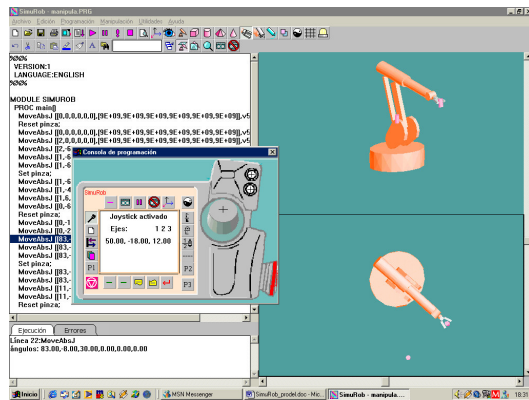


Figura 4: Captura de pantalla del programa SimuRob

SimuRob permite la programación de movimientos por el método de guiado punto a punto del extremo

del robot virtual mediante la consola virtual y su joystick 3D.

Estos programas pueden ser testeados para realizar una comprobación de errores. También es factible la ejecución de los programas realizados en el robot real, puesto que presentan una compatibilidad total con el mismo (figura 5).

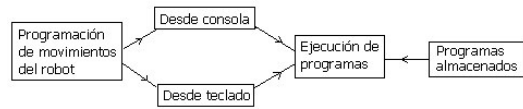


Figura 5: Prestaciones de SimuRob

En los siguientes subapartados se aborda con detalle las prestaciones de SimuRob.

#### 3.1.1 PROGRAMACIÓN

Mediante el panel de programación disponible en la consola virtual es factible escribir un programa moviendo el joystick virtual, que se maneja con el ratón, gracias al cual el usuario posicionará y orientará el extremo del robot de manera análoga a como procedería en la realidad.

El lenguaje de programación empleado es el lenguaje RAPID [1]. El lenguaje RAPID, desarrollado por la empresa ABB Robotics, constituye uno de los últimos lenguajes de programación de robots aparecido en el mercado. Su lanzamiento en el año 1994 supone un nuevo paso adelante en el desarrollo de herramientas de programación para robots comerciales.

Se trata de un lenguaje altamente estructurado que recuerda a un lenguaje de propósito general que incluye la utilización de procedimientos y funciones. Un programa escrito en RAPID consiste en una serie de instrucciones que describen el trabajo del robot. Cada instrucción tiene asociada una serie de parámetros que describen de forma completa la acción a realizar.

SimuRob es capaz de escribir sencillos programas RAPID mediante su consola de programación y de realizar una interpretación y simulación de los mismos con su robot virtual. En este sentido SimuRob es capaz de programar secuencias de movimientos y de apertura y cierre de pinzas.

#### 3.1.2 SIMULACIÓN

El software realizado permite la ejecución de los programas. Durante la simulación es factible visualizar los ejes de las articulaciones robóticas mediante la función “Ejes”, que hace transparente al robot virtual, será entonces posible ver el movimiento relativo de los ejes en las diferentes articulaciones. Además SimuRob permite

contemplar la escena desde varias perspectivas así como rotarla. También se han incluido utilidades como zoom local (figura 6) y global para visualizar detalles.

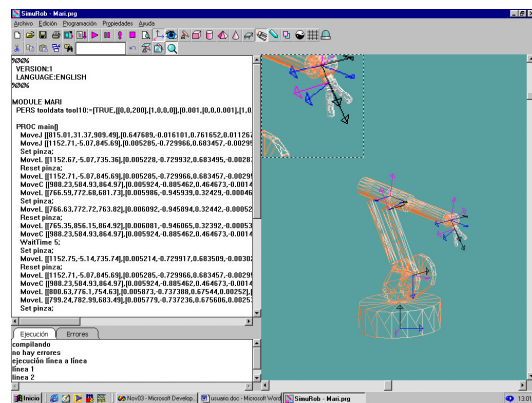


Figura 6: Función de zoom local.

Entre las características del programa cabe destacar la posibilidad de situar y manipular objetos mediante la herramienta pinza (figura 7). Además permite ver la trayectoria que sigue la herramienta durante su movimiento (figura 8).

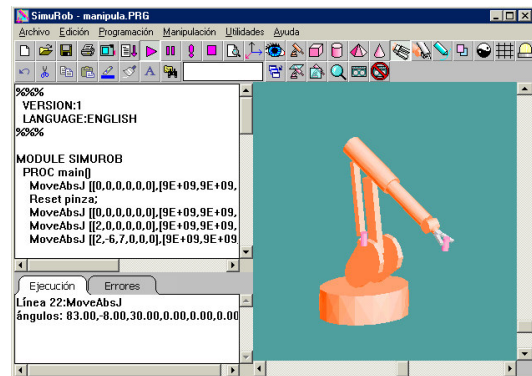


Figura 7: Ejemplo de manipulación de objetos durante la simulación de un programa.

De forma sintetizada SimuRob permite:

- Simular el comportamiento cinemático del robot IRB 1400, mediante un robot virtual.
- Permitir el guiado del robot virtual mediante un cuadro de diálogo en forma de consola, que incluye un joystick 3D.
- Colocar diferentes objetos en su entorno de trabajo, agarrarlos y cambiarlos de posición y orientación.
- Programar los movimientos del robot virtual mediante guiado punto a punto de su extremo, de manera similar a como se programa el IRB-1400.

- Verificar y ejecutar los programas realizados, visualizado los movimientos del robot virtual.
- Ejecutar los programas realizados en el robot real, introduciéndolos en su armario de control.

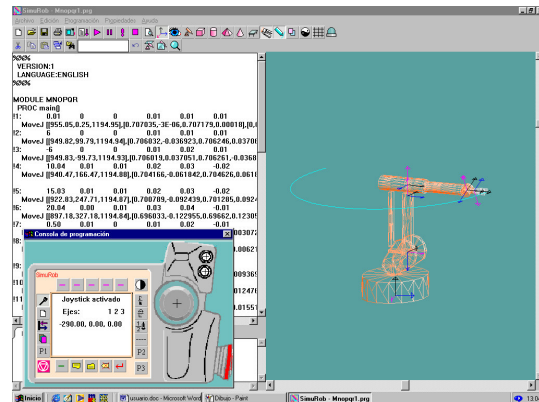


Figura 8: Función de traza.

### 3.1.3 COMPROBACIÓN

Los programas escritos en RAPID son factibles de ser grabados en un disco flexible e insertados en la disquetera del armario de control del robot IRB-1400 para su ejecución en el sistema real. Esto permitirá a los alumnos programar trayectorias y orientaciones con el robot virtual en sus ordenadores para posteriormente poder verificarlos y ejecutarlos en el laboratorio de prácticas con el robot real.

## 4 CONCLUSIONES

En el presente artículo se ha descrito el software SimuRob. Simulador bajo Windows del robot antropomórfico IRB 1400. El programa ha sido realizado en Visual C++, lenguaje ampliamente empleado para la programación de simuladores de robots, debido a su gestión automatizada de memoria, además de ser un lenguaje estructurado, orientado a objetos, muy extendido entre los programadores. Además, Visual C++ es uno de los lenguajes de programación que propone la casa ABB para una posible comunicación con el IRB 1400.

En el diseño y programación de SimuRob no se han utilizado librerías gráficas externas. Todas sus funciones para la representación gráfica están implementadas en los archivos fuente del programa y su comprensión es suficientemente accesible a futuros programadores que podrán utilizarlas o modificarlas como deseen.

En la actualidad existe software de similares características a SimuRob, tanto en forma de

programas comerciales como de programas de libre distribución. Ninguno de ellos incluye la facilidad de un joystick para el guiado del robot, presentando la mayoría un manejo complicado. Además los programas de libre distribución suelen presentar parpadeos a cada secuencia de movimiento y su representación gráfica no tiene la calidad de SimuRob.

El programa realizado permite el manejo de un robot virtual semejante al IRB 1400 mediante una consola virtual que incluye un joystick para el guiado del robot. Ambos, consola y robot virtual interactúan y pueden visualizarse simultáneamente en pantalla. Mediante la implementación de numerosas utilidades en la visualización de la escena tales como diferentes perspectivas, visualización de ejes de articulaciones, rotaciones de puntos de vista, funciones de contraste de color, funciones de visualización de trayectorias, etc., SimuRob consigue materializar la filosofía con la cual fue diseñado: permitir el conocimiento en profundidad de la cinemática y los movimientos del IRB-1400.

Con el empleo de herramientas por el robot tales como pinzas o pistolas de soldadura, y gracias a sus funciones de manipulación de objetos, a su algoritmo de agarre de piezas, y su capacidad para generar código RAPID, SimuRob ofrece la posibilidad de realizar programas complejos que posteriormente podrán ser ejecutados por el robot real.

SimuRob ha sido diseñado para ofrecer un fácil manejo del mismo, pudiendo ser manipulado por usuarios noveles, sin nociones en robótica, ni en el lenguaje de programación de robots RAPID, pudiendo ser empleado para un aprendizaje de conceptos tales como cinemática directa e inversa, movimiento de eslabones, el concepto de cuaternio de orientación, etc., además de poder emplearse en el aprendizaje del manejo de IRB 1400 debido a la similitud de su consola virtual con la consola real.

Otra de las ventajas del software programado es la de ofrecer un código abierto, ofreciendo una lógica de programación versátil para la simulación de nuevos algoritmos y funciones, con la posibilidad de ser ampliado en un futuro. Debida a esta característica, SimuRob podrá incrementar sus funciones, incorporar cintas transportadoras, interactuar con el entorno mediante algoritmos de visión artificial, siendo posible la integración del robot virtual en una célula de fabricación flexible.

### Agradecimientos

Mis agradecimientos a los profesores que han dirigido el diseño y la programación de SimuRob, los doctores D. Jorge Juan Feliu Batlle y D. José Manuel Cano Izquierdo, por su interés y ayuda en la elaboración del proyecto y por la confianza

depositada en mi criterio durante la elaboración del mismo.

### Referencias

- [1] ABB Robotics Products AB. Guía de Referencia RAPID. Baseware OS 2.1
- [2] ABB Robotics Products AB. Manual del Producto IRB-1400.
- [3] Barrientos A. et al. Fundamentos de Robótica. McGraw-Hill. 1997
- [4] Camelot.  
[www.camelot.dk](http://www.camelot.dk)
- [5] EasyRob.  
[www.easyrob.de](http://www.easyrob.de)
- [6] Move Master Mitsubishi Simulator.  
<http://sop.upv.es/srd/k1.html>.
- [7] Petzold C., Yao P. Programación en Windows 95. *McGraw-Hill*, 1996
- [8] QuickTeach.  
[www.abb.com/robotics](http://www.abb.com/robotics).
- [9] RoboSim.  
[www.uco.es/~aromero/robosim/](http://www.uco.es/~aromero/robosim/)
- [10] Robot3d.  
[www.robot3d.com](http://www.robot3d.com)
- [11] SimRobot.  
[www.informatik.uni-bremen.de/simrobot/win16\\_e.htm](http://www.informatik.uni-bremen.de/simrobot/win16_e.htm)
- [12] SimuRob. Simulador del robot IRB-1400. Proyecto Fin de Carrera. Autora: M. Beltrán Blanco. UPCT. Marzo 2004.