

**Universidad de Guadalajara**  
**Centro Universitario de Los Lagos**  
**Div. De Estudios de la Biodiversidad e Innovación Tecnológica**

**TALLER DE PROGRAMACIÓN**  
**ROBOTINO<sup>MR</sup>**

**Nivel Básico**

**Mtra. Diana Costilla López**

**Julio de 2015**

# Contenido

- I.- Introducción
- II.- Generalidades
- III.- Partes que lo componen
- IV.- Cerebro
- V.- Sensores
- VI.- Sistema Omnidireccional
- VII.- Comunicación
- VIII.- Lenguajes de Programación
- IX.- Referencias

## Introducción

La Robótica es hoy en día una de las áreas con más impulso dentro de las aplicaciones de Ingeniería, por lo que los conocimientos generales de la lógica en programación aplicada a algún mecanismo, resultan indispensables para todos aquellas personas cuya formación implica el generar procesos óptimos de automatización o control.

La Robótica Móvil es una de las áreas con más auge, ya que involucra en análisis del entorno y el procesamiento de señales externas para determinar rutas de navegación y posiciones intermedias y finales para el robot. Es de suma importancia la construcción de un robot móvil y más aún su programación.

Este manual tiene como finalidad dar a conocer a los alumnos de la materia Sistemas Robóticos del CULagos las especificaciones y características principales del Robotino FESTO<sup>MR</sup>, tales como son partes que lo componen, el sistema omnidireccional, los sensores que posee, tipos de programación, etc.

Cabe señalar que aunque se presente a los alumnos de una asignatura en particular, no se descarta la opción de que algún interesado en el área lo use, ya que el tipo de conocimiento que aquí se presenta puede ser utilizado por cualquier persona con inquietud hacia el área de la programación y la Mini-Robótica.

*Ing. Diana Costilla López*  
Lab. Mini-Robótica

# Generalidades

El ROBOTINO<sup>MR</sup> es un dispositivo robótico con movimientos omnidireccionales el cual puede controlarse a distancia, que permite desarrollar las habilidades de programación y para resolución de problemas específicos con sus diversas restricciones, teniendo en cuenta el análisis vectorial que definirá las trayectorias del robot.

## Partes que lo componen

Esta compuesto por tres motores, tres encoders, sensores de proximidad, dos sensores ópticos, sensor de colisiones, sensor inductivo, dos baterías, cámara web, modem inalámbrico, tres juegos de ruedas omnidireccionales, la carcaza y el cerebro.



Figura 1.- ROBOTINO<sup>MR</sup>

## Cerebro

El cerebro del ROBOTINO<sup>MR</sup> se forma por tres componentes:

- Procesador PC104, compatible con MOPSIdVE, 300 Mhz, y sistema operativo Linux con kernel en tiempo real, SDRAM 1280 MB.
- Tarjeta compact flash de 256 MB con API C++.
- Punto de acceso LAN inalámbrico.

La unidad de control está equipada con las siguientes interfaces: Ethernet, VGA y 2 puertos USB. Estos se utilizan para conectar un teclado, un ratón y una pantalla. Con ello puede accederse al sistema operativo y a la librería C++ sin una PC.

La tarjeta compact flash contiene el sistema operativo, las librerías de funciones y los programas incluidos. Las actualizaciones pueden instalarse fácilmente con la simple sustitución de la tarjeta PC. La ranura para la tarjeta está situada a la derecha de los interfaces de la unidad de control.

La tarjeta de circuito de E/S establece la comunicación entre la unidad de control y los sensores, la unidad de accionamiento y el interface E/S incluidos. Cada uno de los motores de las unidades de accionamiento individuales es controlado por un regulador PID. Cada motor puede ser regulado individualmente.

Es posible conectar sensores y actuadores adicionales. Estos se conectan por medio de un conector incluido.

- 8 entradas analógicas (0 – 10 v) (AIN0 hasta AIN7)
- 8 entradas digitales (DI0 hasta DI7)
- 8 salidas digitales (DO0 hasta DO7)
- 2 relés para actuadores adicionales (REL0 y REL1). Los contactos de los relés pueden utilizarse como NA, NC o conmutados.

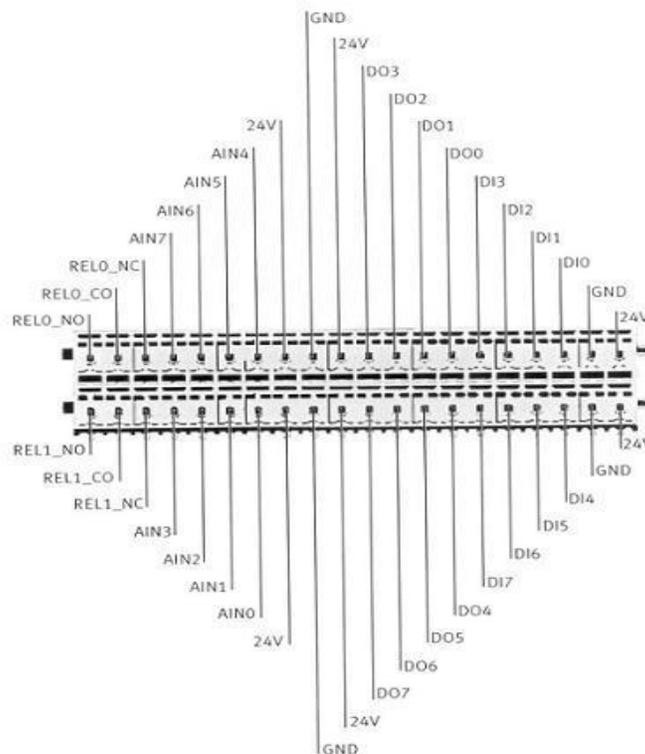


Figura 2.- Asignación de bornes de la Interface de Entradas y Salidas

Las señales del encoder, de los sensores y actuadores instalados en forma permanente, que están conectados al interface de E/S son transferidas a la unidad de control o a los actuadores adicionales.

La alimentación eléctrica es suministrada por dos baterías recargables de 12V con una capacidad de 4Ah. Ambas baterías están montadas en el chasis.

### Teclado y membrana

Al presionar el botón On/Off (hasta que el LED esté encendido), se encenderá el display, aparecerán dos barras que cruzan todo el ancho de la pantalla, tras unos 30 segundos aparece la indicación de arranque en el display.

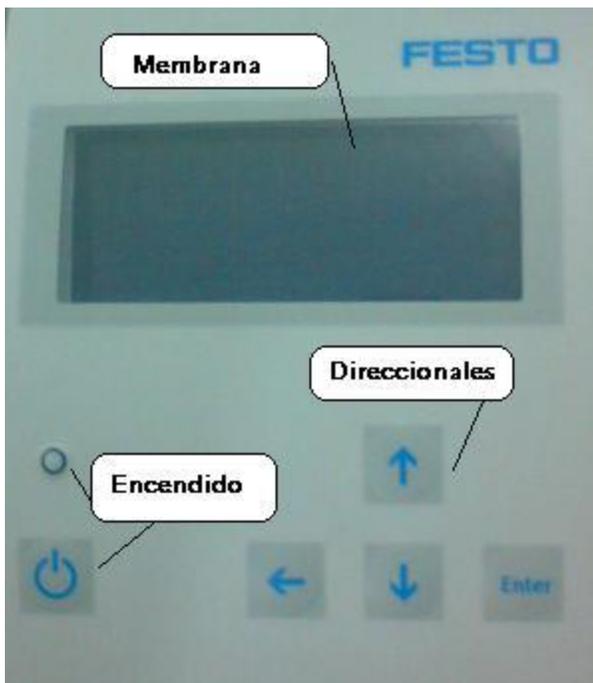
La última línea muestra una barra (batería) y la versión del software.

(La iluminación del display se apagará si no se oprime alguna tecla durante 10 segundos, para volver a iluminarlo presione alguna flecha).

*Nota: **no pulse ENTER** para evitar un arranque no deseado.*

Para apagar el botón On/Off debe ser presionado hasta que el LED se apague. (ROBOTINO<sup>MR</sup> no se apagará hasta que no se suelte el botón).

En el menú principal se encuentran los siguientes elementos:



**Lenguajes:** (Lenguajes) deutsch, english, français, español.

**State of charge:** (Estado de carga) informa el actual estado de las baterías, tensión y corriente.

**DEMOS:** (Programas de demostración previamente grabados en el CPU). Los cuales son: círculo, avance, cuadrilátero, explorar, seguir una línea.

**Red:** muestra la dirección IP actual, y la máscara de subred. (Es posible modificarlas utilizando las flechas direccionales y la tecla ENTER)

Figura 3.- Membrana y Display

# Sensores

En el ROBOTINO<sup>MR</sup> se han integrado distintos tipos de sensores para realizar captar diversas situaciones, tales como identificar objetos a distancia, evitar choques y detectar la velocidad del motor. A continuación se presenta breve descripción del funcionamiento de cada uno de los sensores.

Los sensores que incluye el RCX son:

- Sensores de medición de distancia por infrarrojo
- Encoder
- Sensor Anticolisiones
- Sensor Inductivo de proximidad analógico
- Sensores de reflexión directa

Se tienen nueve sensores de medición de distancia por infrarrojo, que se encuentran montados en el chasis formando un ángulo de 40° entre sí. Los sensores son capaces de medir distancias con precisión o relativas a objetos, con valores entre 4 y 30 cm. La conexión del sensor es especialmente sencilla e incluye tan sólo una señal de salida analógica y la alimentación. La electrónica de evaluación del sensor determina la distancia, que puede leerse como una señal analógica.

La velocidad real de cada motor se mide en RPM por el encoder incremental. Si la velocidad real del motor difiere del punto de consigna, puede ajustarse para que coincida con el valor deseado por medio de un regulador PID, cuyos parámetros están configurados con la ayuda del software ROBOTINO<sup>MR</sup> view.

El sensor anticolisión (bumper) está formado por una banda de detección fijada alrededor de un aro que circunda el chasis. Una cámara de conmutación se encuentra situada dentro del perfil plástico. Dos superficies conductoras se hallan dispuestas dentro de la cámara, manteniendo una determinada distancia entre sí. Estas superficies entran en contacto cuando se aplica una mínima presión en la banda deformándola. Con ello, una señal perfectamente reconocible es transmitida a la unidad de control. Las colisiones con objetos en cualquier punto del cuerpo se detectan y pueden utilizarse como señal para cambios de actividad en el programa o incluso detenerlo.

El sensor inductivo de proximidad se suministra como un componente adicional. Sirve para detectar objetos metálicos en el suelo y se utiliza para el control filoguiado. Lee señales de diferente intensidad dependiendo de si se encuentra en el medio o en el borde de una tira metálica. Con ello puede controlarse el recorrido de forma perfectamente diferenciada.

Este sensor debe fijarse y conectarse en la interface de E/S.

<b>Conexión para el sensor de reflexión directa en Interface E/S</b>	
Café-1	Alimentación 24V
Azul-1	Tierra GND
Negro-1	Entrada DI0
Blanco-1	Entrada DI1

<b>Sensor inductivo de proximidad</b>	
Tensión de funcionamiento	15 – 30 VDC
Tensión de salida	0- 10 V
Tipo	SIEA-M12B-UI-S
Diámetro	M12
Margen de detección	0 - 6 mm
Frecuencia de conmutación	1000 Hz
Temperatura ambiente	-25 a +70 °C
Material del cuerpo	Latón cromado
Par de apriete máximo	10 Nm
Repetibilidad	0.01 mm

Los *sensores de reflexión directa (luz difusa)* pueden ser implementado para un seguidor de ruta o línea. Los cables flexibles de fibra óptica se conectan a una unidad óptica que funciona con luz roja visible. Se detecta la luz reflejada. Diferentes superficies y colores producen diferentes grados de reflexión. Sin embargo, no pueden detectarse diferencias graduales en la luz reflejada. Estos sensores deben fijarse y conectarse en la interface de E/S.

<b>Conexión para el sensor de reflexión directa en Interface E/S</b>	
Café-1	Alimentación 24V
Azul-1	Tierra GND
Negro-1	Entrada DI0
Blanco-1	Entrada DI1
Café-2	Alimentación 24V
Azul-2	Tierra GND
Negro-2	Entrada DI2
Blanco-2	Entrada DI3

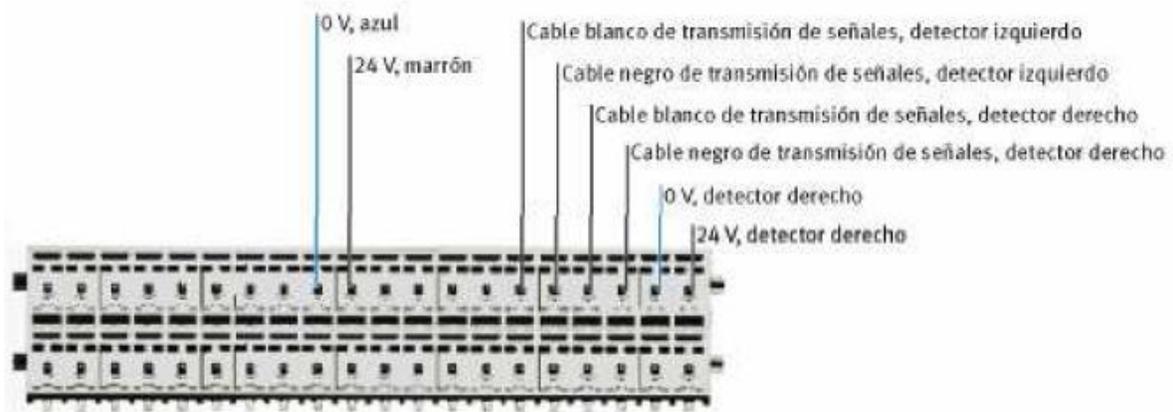


Figura 4.- Conexión de sensores a la Interface E/S

ROBOTINO<sup>MR</sup> está equipado con una cámara, la cual puede ajustarse en altura e inclinación. La cámara permite visualizar imágenes en directo con la ayuda del software ROBOTINO<sup>MR</sup> View, el cual ofrece diversas opciones de procesamiento. Un segmentador localiza superficies del mismo color en una determinada imagen y puede determinar la posición y tamaño de cualquier segmento. Pueden detectarse líneas en imágenes de video. Los resultados pueden usarse para señalar objetos con precisión, así como para el seguimiento de recorridos y de objetos.

<b>Sensor de imágenes Color VGA CMOS</b>	
Profundidad de color	24 Bit color verdadero
Conexión a PC	USB 1.1
Resolución de video	160 x 120, 30 fps (SQCGA) 176 x 144, 30 fps (QCIF) 320 x 240, 30 fps (QVGA) 352 x 288, 30 fps (CIF) 640 x 480, 15 fps (VGA)
Resolución de imagen fija	160 x 120 (SQCGA) 176 x 144 (QCIF) 320 x 240 (QVGA) 352 x 288 (CIF) 640 x 480 (VGA) 1024 x 768 (SVGA)
Formato de captura de imagen fija	BMP, JPG

Las cámaras digitales son los sensores más complejos utilizados en robótica. El procesamiento digital de imágenes surge de la necesidad de generar un sistema robótico cada vez más autónomo, para esto deberá ser capaz de obtener información gráfica de tu entorno, lo que lleva a la problemática de los sistemas de visión.

## Sistema Omnidireccional

El ROBOTINO<sup>MR</sup> es accionado por 3 Motores (unidad accionamiento) omnidireccionales independientes. Se encuentran montadas un ángulo de 120° entre sí.

Cada una consta de:

- Motor DC
- Reductor con una relación 16:1
- Rodillos omnidireccionales
- Correa dentada
- Encoder incremental

todos los componentes individuales están fijados a la brida de montaje en la parte posterior. Junto con la brida frontal, la unidad de accionamiento está sujeta al chasis con tornillos. La velocidad real del motor puede compararse con la velocidad deseada por medio del encoder incremental, y puede regularse con un PID a través de la placa de circuito de E/S.

<b>Motor DC (GR 42 x 25)</b>	
Tensión nominal	24 V DC
Velocidad nominal	3600 rpm
Par nominal	3.8 Ncm
Intensidad nominal	0.9 A
Par de arranque	20 Ncm
Velocidad sin carga	4200 rpm
Intensidad sin carga q	4 A
Intensidad de desmagnetización	6.5 A
Momento de inercia de la masa	71 gcm <sup>2</sup>
Peso del motor	390 gr

<b>Reductor planetario (PLG 42 S)</b>	
De una sola etapa	3.5 Nm
De una sola etapa	4:1 – 8:2 i
2 etapas	6 Nm
2 etapas	16:1 – 64:1 i
3 etapas	14 Nm
3 etapas	100:1 – 512:1 i

<b>Rueda omnidireccional, accionada (ARG 80)</b>	
Diámetro	80 mm
Máxima capacidad de carga	40 kg

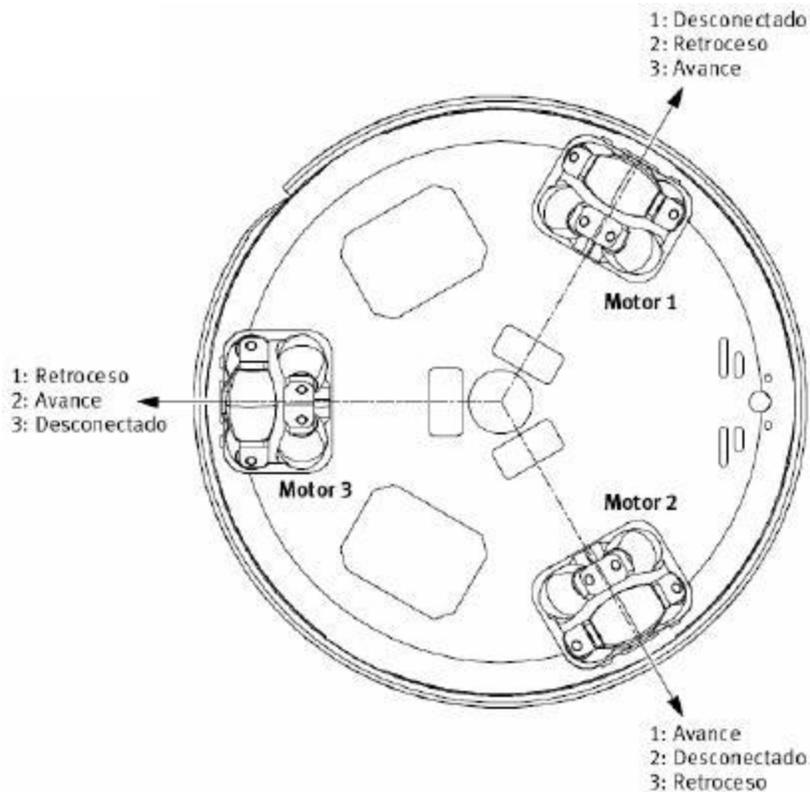


Figura 5.- Posición de los Motores en el estructura del Robot

Existen sistemas omnidireccionales de 2, 3 o 4 ruedas por mencionar algunos, dependerá del tipo de estructura y posición de los motores para determinar los movimientos para direcciones específicas, en el caso particular que nos interesa la estructura de 35 cm de diámetro tiene montados los tres motoros con un ángulo de  $120^\circ$  entre el eje de cada uno. Por lo que los ejes de coordenadas serán los siguientes:

- Eje X positivo está de cara a la cámara web, es decir, se encuentra entre el Motor1 y el Motor2. Y totalmente opuesto en dirección al eje físico del Motor3
- Eje Y positivo se encuentra a  $90^\circ$  con respecto de la horizontal.
- Y el tercer eje de referencia para este sistema es el Eje W que representa el giro sobre el Eje Z cartesiano.

*Nota: no debe confundirse la posición de los ejes de los motores y encoders con los ejes de coordenadas ya que no son equivalentes.*

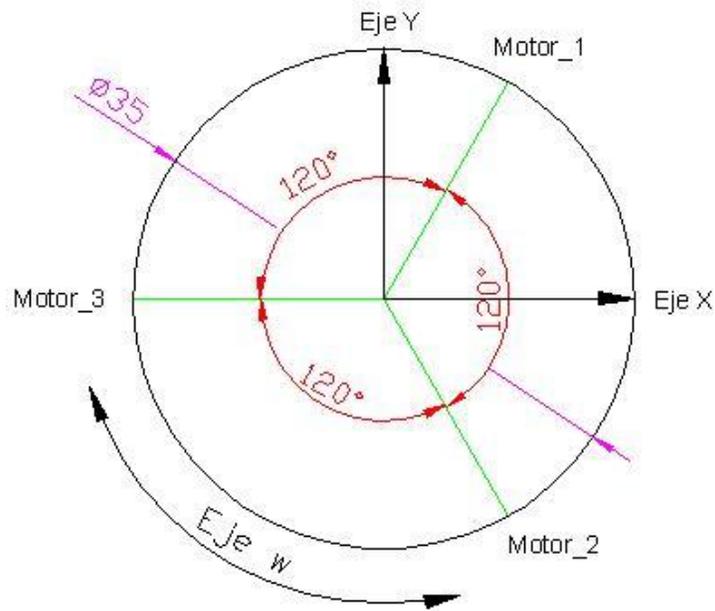


Figura 6.- Ejes coordenados respecto a la posición física de los Motores

Para plantear el desplazamiento de un robot omnidireccional es necesario tener en cuenta el desfase de los ejes de sus motores y a partir de allí calcular los vectores requeridos para que el vector resultante sea el movimiento esperado.

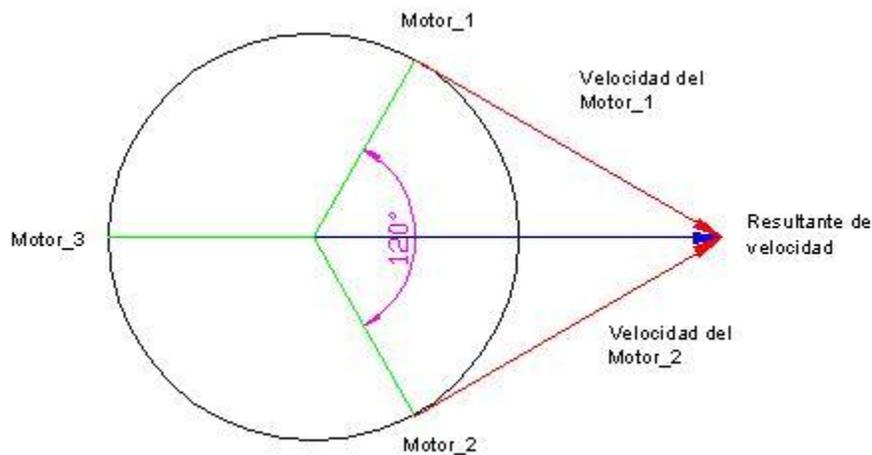


Figura 7.- Vectores de velocidad de los motores 1 y 2 para movimiento a lo largo del eje X positivo

Es indispensable realizar varios ejercicios para analizar y comprender la estructura y movimientos del robot. Aunque esto puede facilitarse con el uso del OmniDrive en el software ya que entonces no será necesario vigilar los movimientos de cada motor de forma independiente, simplemente se indicará en qué eje coordenado se moverá.

# Comunicación

La comunicación ROBOTINO<sup>MR</sup>↔PC es posible a través del modem inalámbrico, el modem o punto de acceso se caracteriza por su bajo consumo de corriente. Es posible alimentarlo a través del puerto USB, cumple con los estándares IEEE 802.11g y 802.11b, permite velocidades de transmisión de hasta 54 MB/s para 802.11g y 11MB/s para 802.11b con un amplio rango para las transmisiones (hasta 100 m dentro de edificios, y 50-60 m en exteriores), permite establecer una red segura con encriptación WEP y función WPA-PSK la cual es rápida y simple de configurar a través de cualquier aplicación (programa) de administración de la red.



Figura 8.- La comunicación de Robotino hacia una PC o LapTop es mediante WLAN

La PC deberá buscar dispositivos inalámbricos dentro de su alcance. Aparecerá una red con el nombre ROBOTINO<sup>MR</sup> x.x en las redes disponibles. Si es necesario, establezca una conexión con esta red si ello no se ha hecho previamente por el software de red.

Es necesario realizar algunos ajustes en la red:

- Asignar automáticamente la clave de red (SSID)
- Obtener una dirección IP automáticamente

Ambos ajustes deben estar activos para poder establecer una conexión, la cual puede verificarse desde MS-DOS o el ROBOTINO<sup>MR</sup>View. El modem debe estar en modo AP (Access Point)

Es posible utilizar desde dos hasta cuatro Robotino® simultáneamente, la aplicación puede describirse en los mismo términos que en el caso anterior.

La ventaja es que todos los Robotino® pueden tener la misma dirección IP, ya que cada uno crea su propia red. Y la desventaja es que varias redes WLAN puede interferir si sus canales están muy cercanos. Sólo existen once canales y, por razones de seguridad, es recomendable que queden libres por lo menos tres canales entre dos canales activos.

Para conectar varios Robotino a un mismo servidor, debe cambiarse el modem a APClient, y debe existir un AP WLAN central que esté conectado a una red Ethernet local.

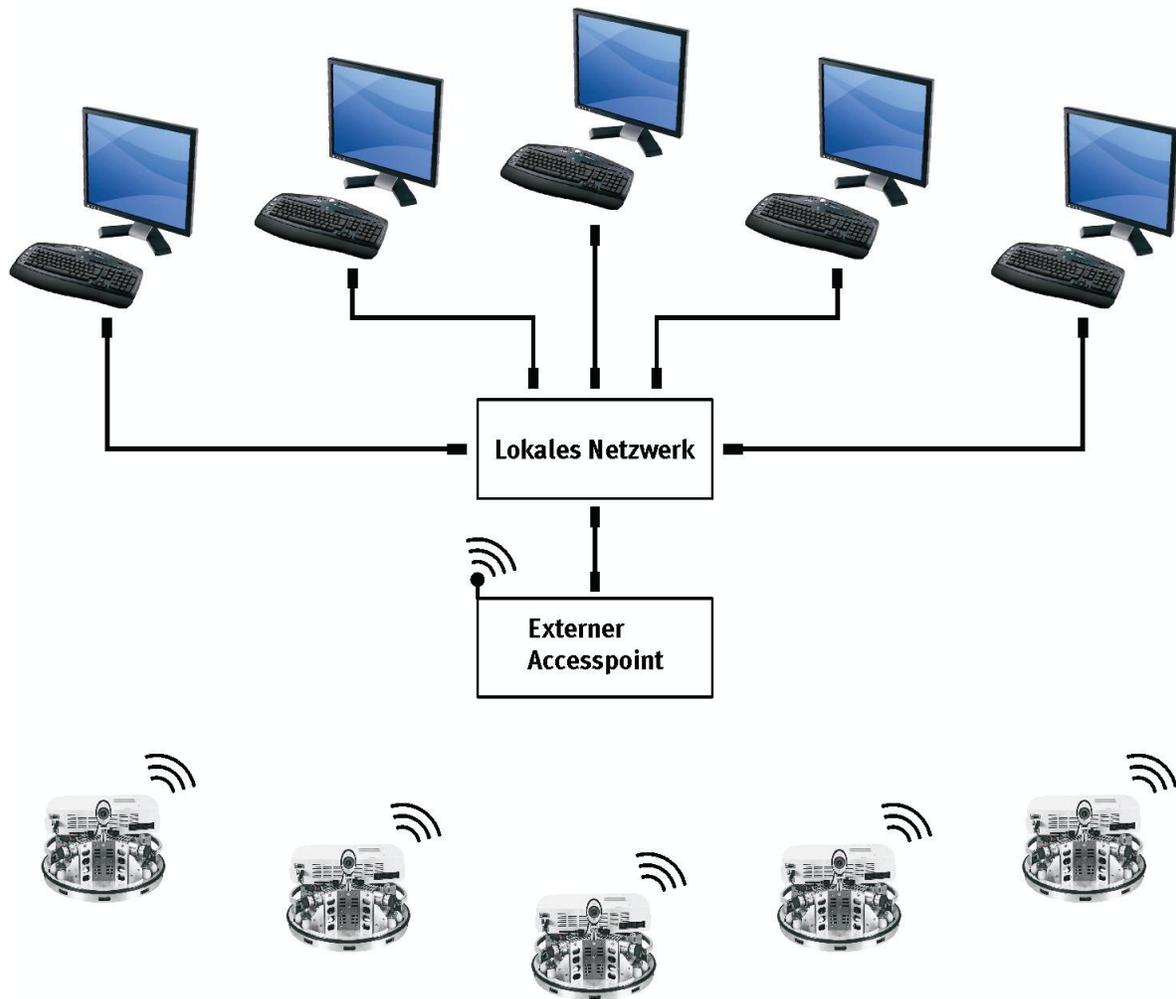


Figura 9.- La comunicación de Robotino utilizando una Ethernet

Ante este tipo de configuración se tiene como ventaja que es posible conectar una cantidad indistinta de Robotino® a la red. Y la desventaja es que cada Robotino® debe contar con una dirección IP específica. Sin embargo, esta dirección puede introducirse mediante el teclado de membrana.

También es posible conectar si no se tiene una Ethernet teniendo un WLAN central adicional y se utilizaría la configuración anterior, modem en APClient.

***NOTA:*** Es de suma importancia vigilar que el modem esté en la posición correspondiente al tipo de modo AP que se requiera o no existirá conexión entre las computadoras y ROBOTINO<sup>MR</sup>.

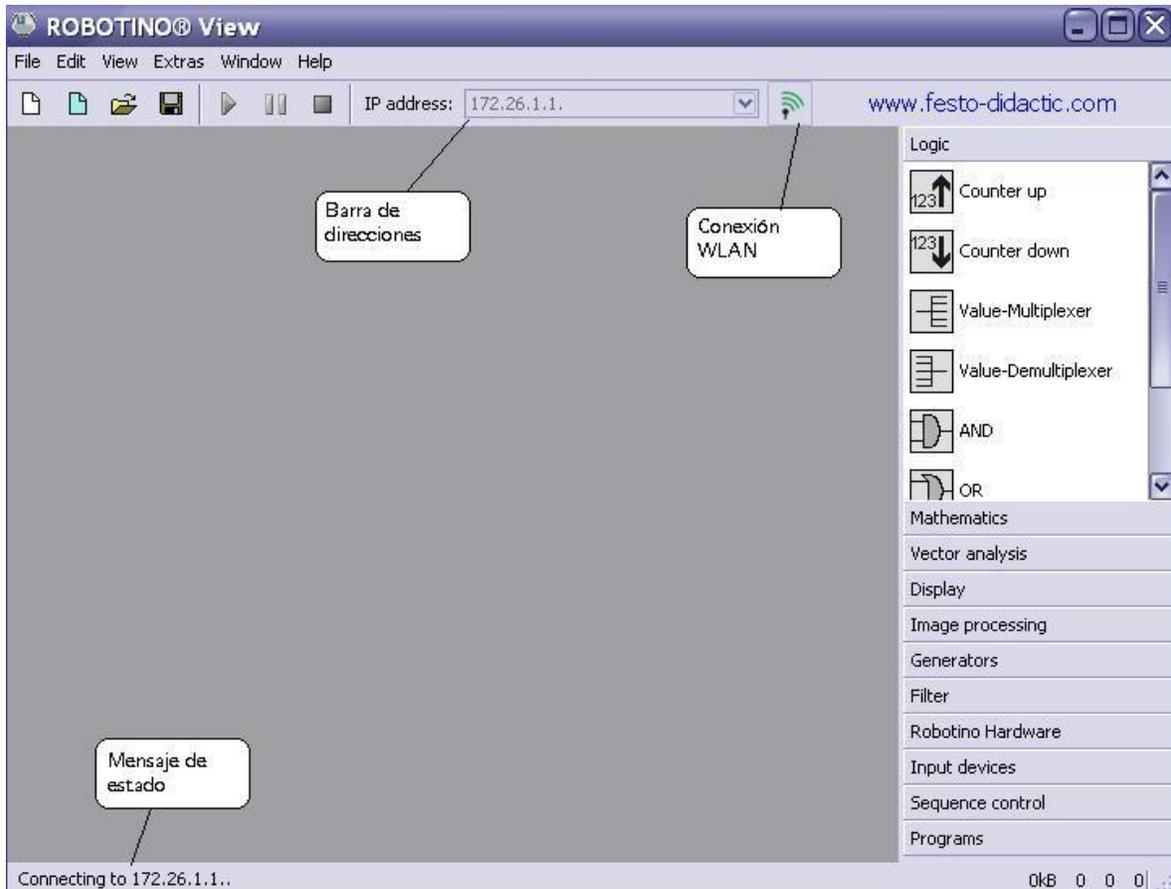


Figura 10.- Elementos para comunicación y disposición de librerías en Robotino View<sup>MR</sup>

Desde MS-DOS puede enviarse un ping a la dirección IP del ROBOTINO<sup>MR</sup>, si no existe conexión se recibirá un mensaje que indique que el “Tiempo de espera se ha agotado para dicha solicitud”. Desde el software puede escribirse la IP en la barra superior y haciendo click en el símbolo de antena comenzará a la búsqueda para establecer la conexión, la cual se muestra en la barra de estado.

En caso de no existir conexión aparecerá el mensaje “Connection refused”. Es frecuente que se exceda el tiempo sin envío de señal con lo que se cerrará la conexión automáticamente y deberá restablecerse de forma manual.

***NOTA:*** Es de suma importancia vigilar que la máscara de subred (255.255.0.0) que asigna ROBOTINO<sup>MR</sup> sea la misma que la de la PC o LAPTOP con la que se desea trabajar, ya que al ser distinta habrá conexión al servidor pero el programa no será enviado al robot para ejecutarse.

# Lenguajes de Programación

Para programar los movimientos del ROBOTINO<sup>MR</sup> existen varios lenguajes, el visual ROBOTINO View, basado en una plataforma LabVIEW utilizando la conexión WIFI, el de código con base en C++ el cual puede ser accesado por Debian al conectar directamente el CPU a un monitor y un teclado, o MATLAB.

## **ROBOTINO View:**

En este taller utilizaremos la interfaz gráfica. El software ROBOTINO View<sup>MR</sup> permite generar programas de una forma bastante fácil y amigable, ya que mediante un entorno visual podemos establecer una línea de comandos visuales (íconos) y definir especificaciones para cada uno de ellos. La lógica principal radica en realizar comparaciones lógicas y matemáticas de valores establecidos por el usuario como constantes o los obtenidos por alguno de los sensores.

Además es posible establecer pequeños programas que a la vez pueden ser llamados por un programa principal a partir de condiciones determinadas, formando así ciclos y condiciones para realizar tareas más complejas, para poder controlar el comportamiento de los motores y por ende el desplazamiento del robot.

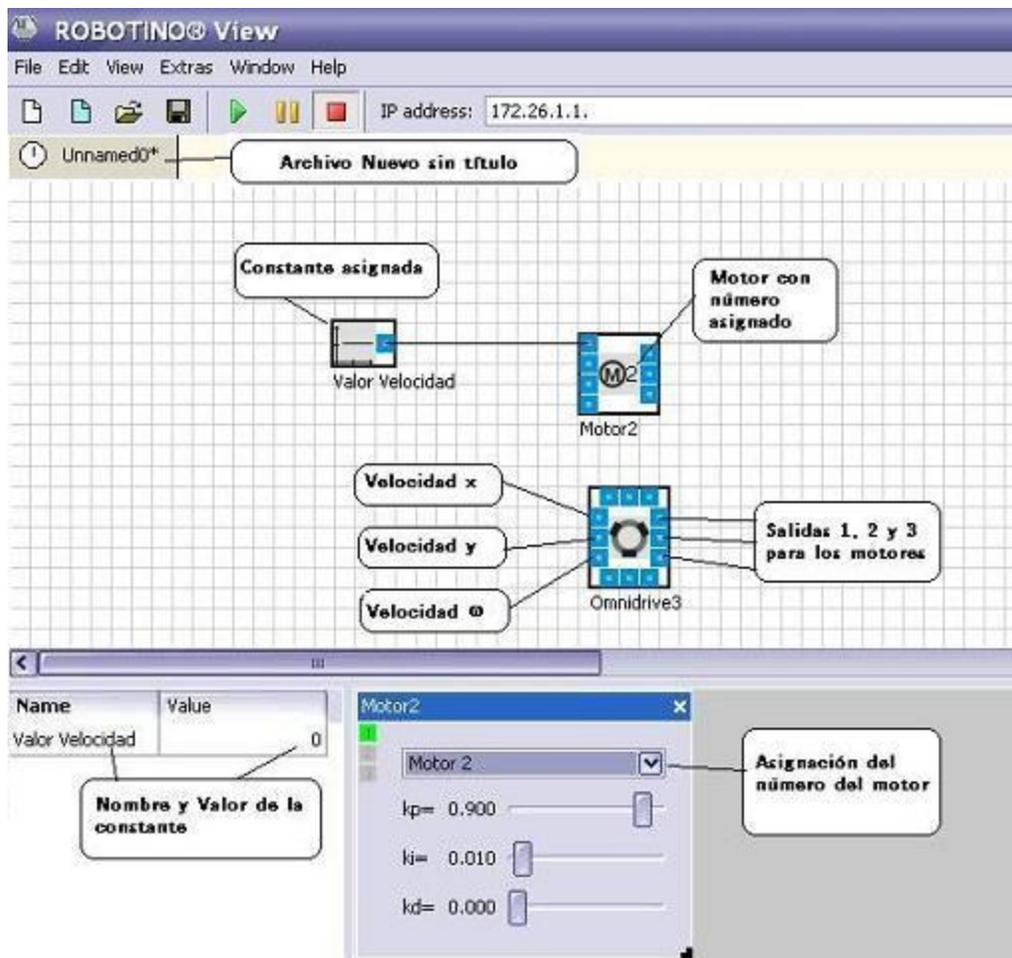


Figura 11.- Entorno de programación de Robotino View<sup>MR</sup>  
 A continuación se anexa una lista de los principales íconos y su función:

COMANDOS LÓGICOS.	DESCRIPCIÓN
 Counter up	Incremento de Contador
 Counter down	Decremento o disminución del Contador
 Value-Multiplexer	Valor-Multiplexor
 Value-Demultiplexer	Valor-Demultiplexor
 AND	Función Lógica Y
 OR	Función Lógica O incluyente
 XOR	Función Lógica O excluyente

 Inv	Función Lógica Inversa o Negación
<b>COMANDOS MATEMÁTICOS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
 Division	División
 Modulo	Porcentaje
 Addition	Suma
 Subtraction	Resta
 Multiplication	Multiplicación
 Minimum	Valor Mínimo
 Maximum	Valor Máximo
 Abs	Valor Absoluto
 Greater	Mayor que
 Less	Menor que
 Greater equal	Mayor o igual a
 Less equal	Menor o igual a
 Equal	Igual o equivalente
 Not equal	Distinto o no igual
 Transferfunction	Función de Transferencia
<b>COMANDOS DE ANÁLISIS DE VECTORES</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
 Vectorconstant	Vector Constante
 cartesian to vector	Transformación de coordenadas cartesianas a vector

 polar to vector	Transformación de cordenadas polares a vector
 Vector to cartesian	Transformación de vector a coordenadas cartesianas
 Vector to polar	Transformación de vector a coordenadas polares
 Addition	Suma de vectores
 Subtraction	Resta de vectores
 Scalar*Vector	Proporción de vector respecto a un escalar
 Set length	Fijar longitud
 Rotate	Rotar
<b>COMANDOS TIPO DISPLAY</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
 Scope	Osciloscopio
 Vector display	Display vectorial
 MapBuilder	Constructor de Mapas
<b>COMANDOS DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
 Segmenter	Segmentador
 Segment extractor	Extractor de segmento
 Line detector	Detector de línea
<b>COMANDO DE GENERADORES</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
 Square puls generator	Generador de pulso cuadrado
 Triangle puls generator	Generador de pulso triangular
 Sine generator	Generador senoidal

 Constant	Constante
 Time	Tiempo
<b>FILTRO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
 Smooth	Suavizador de onda
<b>HARDWARE DE ROBOTINO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
 Camera	Cámara Web
 Distance	Distancia
 DigitalInput	Entrada Digital
 ADC	Convertidor analógico-digital
 Bumper	Bumper (sensor de tacto lateral)
 Motor	Motor
 DigitalOutput	Salida Digital
 Relay	Relevador
 Omnidrive	Omnidrive (Controlador Omnidireccional)
 Power Management	Administrador de Energía
 NStar	Estrella del Norte
<b>DISPOSITIVOS DE ENTRADA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
 Joystick	Joystick o Control
 ControlPanel	Panel de control
<b>CONTROL DE SECUENCIA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
 Exit A	Salida A
 Exit B	Salida B

 Exit C	Salida C
 Start	Encendido o arranque de un programa
 Synchronize And	Sincroniza Y
 Synchronize Or	Sincroniza O
<b>PROGRAMAS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
 Unnamed0*	Programa sin título

A continuación se presentan ejemplos prácticos para dominar la programación y control de ROBOTINO<sup>MR</sup>. Cabe mencionar que estas prácticas son ejemplos básicos los que permitirán adquirir habilidades para posteriormente realizar programas y propuestas para aplicaciones de este tipo de sistemas mucho más complejos.

## Referencias

Robotino® The new learning system – Learning with robots **FESTO**  
 Robotino® Manual del instructor **FESTO**  
 Puesta en Marcha, Ing. G. Carlos Barragán Ortuño **FESTO Didactic México**