



## Práctica No. 5



Departamento de Mecatrónica

Mechatronics Research Group

# Campos potenciales artificiales y seguimiento de trayectorias

### 1. Objetivo de la práctica

Conocer el método de campos potenciales artificiales y su aplicación en la robótica móvil. Implementar este método para el control del desplazamiento punto a punto y de seguimiento de trayectorias en un robot móvil diferencial (2,0).

### 2. Metas

Para la realización de la práctica se deben cumplir las siguientes metas:

- Identificar el método de campos potenciales artificiales y el modelo que se utilizará para implementarlo con el robot móvil.
- Programar el método de campos potenciales artificiales en el entorno de Simulink para calcular la velocidad lineal y angular del robot.
- Realizar la programación en Simulink para poder indicar el objetivo al que debe desplazarse el robot móvil, tanto a un punto fijo como para una trayectoria.
- Retroalimentar el estado del robot móvil utilizando el sistema de visión desarrollado en la práctica 1.

### 3. Antecedentes

Existen muchas técnicas diferentes para el control de robots móviles. En términos generales, es posible hacer una distinción entre dos tipos distintos de métodos de control: los métodos deliberativos y los métodos reactivos [1].

**Métodos deliberativos:** se caracterizan por determinar el comportamiento del robot a partir de un conocimiento previo del entorno en el que se va a desarrollar. Por ejemplo, para planear una ruta o trayectoria se parte de que son conocidas las características del terreno o ambiente en el que se van a mover los robots, así como de los obstáculos u objetivos presentes en el camino. A partir de esta información se puede determinar la mejor trayectoria de acuerdo con el objetivo particular que se tenga. En los métodos deliberativos el control se hace de forma predictiva y planeada, tanto temporal como espacialmente.

**Métodos reactivos:** Por otro lado, los métodos reactivos determinan las acciones de los robots con base en la información que va llegando de forma continua del entorno. Es decir, en este caso no se tiene un conocimiento previo completo del ambiente, sino que se van utilizando los sensores en tiempo real para ir modificando y decidiendo el comportamiento de los robots durante el tiempo de ejecución.

El método de **Campos Potenciales Artificiales**, o **Artificial Potential Fields (APF)** en inglés, es un método reactivo, ya que no se planea la trayectoria que seguirá el robot móvil desde un inicio, sino que su comportamiento dependerá de la posición relativa entre el robot y el objetivo u obstáculos que se encuentren en el entorno.



## Práctica No. 5

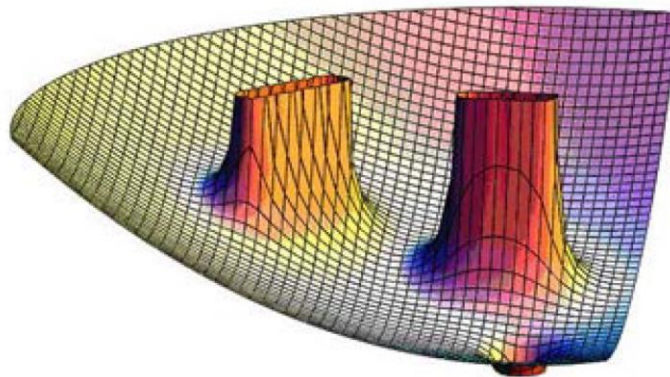


Departamento de Mecatrónica

Mechatronics Research Group

El método de campos potenciales artificiales propone asignar un potencial a cada punto en el plano sobre el que se desplaza el robot móvil, de tal forma que el punto objetivo al cual debe desplazarse el robot tiene el menor potencial, mientras que el punto inicial del robot y los obstáculos que se encuentran en el espacio de trabajo tienen un potencial mayor. Definiendo el campo potencial de esta manera se puede hacer llegar el robot móvil hasta el punto objetivo, evadiendo los obstáculos del ambiente, desplazándolo hacia la dirección a la que se tiene el menor potencial.

Una forma simple de visualizar el método de campos potenciales artificiales es imaginarlo como una manta [2], en la que el punto objetivo es el más bajo, y los obstáculos generan un levantamiento de la manta, dejando más abajo las trayectorias libres de colisión, tal como se muestra en la Figura 1. Con estas consideraciones, al soltar un balón en un punto inicial de la manta, éste tenderá a rodar hacia el punto más bajo, es decir, hacia el objetivo. Al mismo tiempo, el balón rodeará los obstáculos presentes de acuerdo con la inclinación de la manta. En el caso del robot móvil, esto representaría una atracción hacia el objetivo y una repulsión por parte de los obstáculos.



*Figura 1. Ejemplo de un campo potencial artificial representado por dos obstáculos y la meta [2].*



## Práctica No. 5



Departamento de Mecatrónica

Mechatronics Research Group

Modelar los campos potenciales no siempre resulta una tarea sencilla y existen diferentes formas de hacerlo. Una aproximación práctica para la implementación de este método consiste en definir una velocidad atractiva hacia el objetivo que sea directamente proporcional a la distancia entre el robot móvil y el objetivo al cual debe llegar. De esta manera, entre mayor sea la distancia al objetivo mayor será la atracción hacia él. Por otro lado, la repulsión de los obstáculos puede modelarse como una velocidad inversamente proporcional a la distancia entre el robot y el obstáculo, es decir, entre más cerca se encuentre el robot del obstáculo mayor será la tendencia a alejarse de él. Al sumar los efectos repulsivos y atractivos se obtiene la velocidad que deberá ejecutar el robot para lograr trasladarse hasta el objetivo. Esta velocidad cambia constantemente durante la ejecución y depende de la posición del robot a lo largo de su trayectoria.

Matemáticamente, la velocidad de atracción del robot móvil hacia el objetivo puede representarse de la siguiente manera:

$$v = k_v * d_{obj}$$

Donde  $k_v$  representa una constante positiva de velocidad lineal y  $d_{obj}$  simboliza la distancia euclidiana al objetivo, definida de la siguiente manera:

$$d_{obj} = \sqrt{(x_{obj} - x)^2 + (y_{obj} - y)^2}$$

Por lo anterior, la velocidad queda como se muestra a continuación:

$$v = k_v \sqrt{(x_{obj} - x)^2 + (y_{obj} - y)^2}$$

Donde:

$(x_{obj}, y_{obj})$  son las coordenadas del punto objetivo, y

$(x, y)$  son las coordenadas del robot móvil.



## Práctica No. 5



Departamento de Mecatrónica

Mechatronics Research Group

Como se identificó en la práctica 4, para poder controlar el desplazamiento del robot móvil diferencial (2,0) es necesaria una velocidad lineal y una velocidad angular. En este caso, la velocidad lineal ( $v$ ) será la que se definió a partir de la distancia entre el robot y el objetivo, mientras que la velocidad angular ( $\omega$ ) estará dada a partir de la diferencia entre la orientación actual del robot ( $\theta$ ) y la orientación que debería tener el robot para dirigirse hacia el objetivo ( $\theta_{obj}$ ).

$$\omega = k_{\omega} * \delta_{obj}$$

Donde  $k_{\omega}$  representa una constante positiva de velocidad angular y  $\delta_{obj}$  simboliza la diferencia entre la orientación del robot y la orientación deseada, la cual queda definida de la siguiente manera:

$$\delta_{obj} = \theta_{obj} - \theta$$

$$\theta_{obj} = \tan^{-1} \left( \frac{y_{obj} - y}{x_{obj} - x} \right)$$

Estas velocidades lineales y angulares deberán calcularse constantemente durante el desplazamiento del robot móvil, actualizándose a las condiciones más actuales del entorno. Además, se observa que estos cálculos están en función de la posición y orientación del robot móvil, información que puede obtenerse mediante un sistema de visión con marcadores como el que se desarrolló en la práctica 1.

#### 4. Conocimientos previos

Los conocimientos necesarios para la realización de la práctica son:

- Conocimientos básicos de computación y programación.
- Conocimientos básicos de electrónica.
- Conocimientos básicos de robótica.
- Realización previa de las prácticas 1 (Sistema de visión), 2 (Conexión Wifi), 3 (Encóder de cuadratura y control de velocidad PID) y 4 (Robot móvil diferencial).

#### 5. Materiales y Equipo

Para la realización de la práctica es necesario contar con lo siguiente:

- Una computadora con Matlab/Simulink. (1)
- Robot móvil diferencial con control de velocidad en ambas ruedas motorizadas (véase práctica 3) y Tarjeta de desarrollo NodeMCU con Módulo WiFi ESP 8266 (véase práctica 2). (2)
- Cable de conexión entre tarjeta y computadora. (3)
- Cámara web. (4)
- Marcador impreso. (5)



# Práctica No. 5

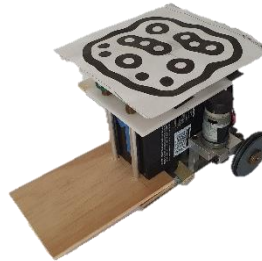


Departamento de Mecatrónica

Mechatronics Research Group



(1)



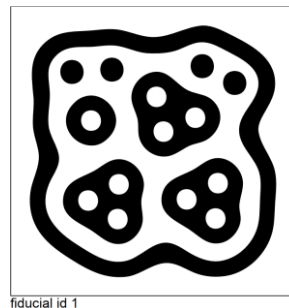
(2)



(3)



(4)



(5)

## 6. Preparativos previos y recomendaciones

- Es recomendable establecer una carpeta específica en la computadora para el desarrollo de la práctica.
- La batería utilizada para alimentar el robot móvil debe estar cargada antes de realizar la práctica.
- Se recomienda haber completado anteriormente las prácticas 1, 2, 3 y 4, ya que en esta práctica se utiliza el sistema de visión de la práctica 1, la conexión Wifi de la práctica 2, el robot móvil con control de velocidad planteado en la práctica 3 y el control del robot móvil diferencial de la práctica 4.

## 7. Desarrollo de la práctica

### a) Programación del modelo de Campos Potenciales Artificiales en Simulink

En la práctica 4 se realizó la programación en Simulink correspondiente a la cinemática del robot móvil diferencial (2,0), la transmisión de los datos desde el programa en Simulink al módulo ESP-8266 montado en el robot, y la implementación de un interruptor que permite detener o activar el robot durante el tiempo de ejecución del programa. Estas tres secciones del programa pueden visualizarse como se muestra en la Figura 2.

En la implementación que se realizó en la práctica 4 se logró el control manual del robot móvil, es decir, se debían indicar directamente las velocidades lineales y angulares a las que debe moverse el robot. En esta práctica se actualizará este programa para que el sistema determine dichas velocidades utilizando el método de campos potenciales artificiales.

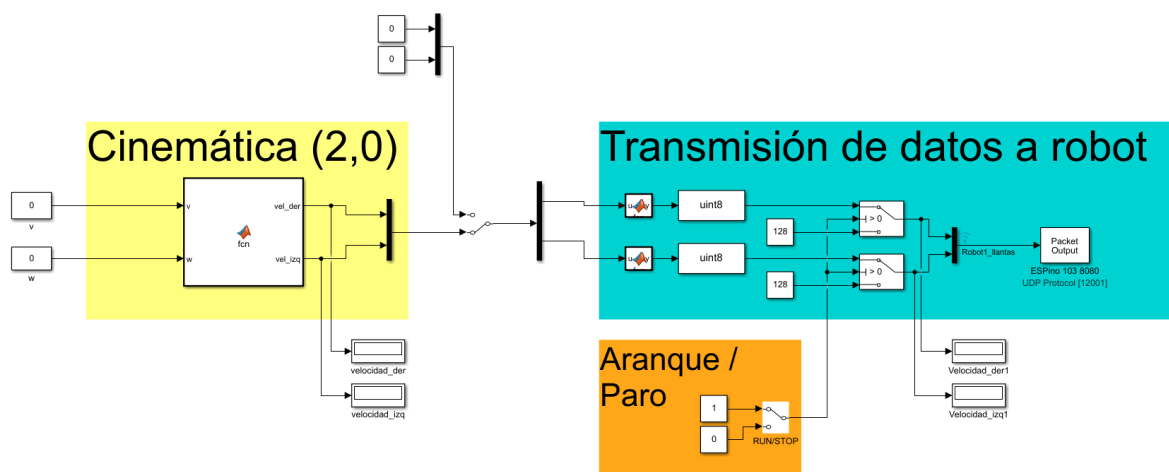


Figura 2. Programación del modelo cinemático, transmisión de datos e interruptor de paro desarrollado en la práctica 4.





## Práctica No. 5

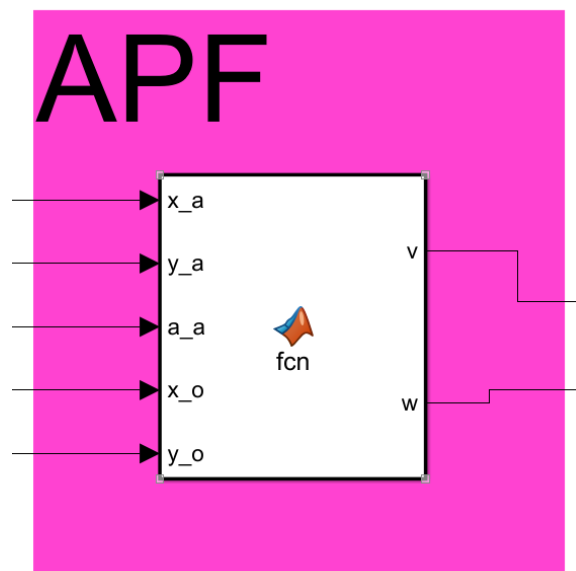


Departamento de Mecatrónica

Mechatronics Research Group

Lo primero que se agregará al programa es el modelo de campos potenciales artificiales que se explicó anteriormente. Para ello, se utiliza un bloque de tipo “MATLAB Function” que tiene como entradas la posición del robot ( $x_a$ ,  $y_a$ ), la orientación del robot ( $a_a$ ) y la posición definida como objetivo ( $x_o$ ,  $y_o$ ); mientras que las salidas corresponden a la velocidad lineal ( $v$ ) y la velocidad angular ( $w$ ) que deberá implementar el robot móvil para trasladarse hasta el objetivo deseado. Este bloque puede implementarse como se muestra en la figura 3.

Al interior de este bloque se deben programar los cálculos necesarios para determinar las velocidades del robot en función de las entradas. En esta práctica se hace uso de las ecuaciones presentadas en la sección de antecedentes.



*Figura 3. Bloque para programación del método de campos potenciales artificiales en Simulink.*



## Práctica No. 5



Departamento de Mecatrónica

Mechatronics Research Group

Al interior de este bloque se tiene programada la función, indicando las entradas y salidas de la siguiente manera:

```
function [v, w] = fcn(x_a, y_a, a_a, x_o, y_o)

end
```

Dentro de la función es necesario definir primero las constantes que se utilizarán:

```
kv = 1.5;           % Constante velocidad lineal
kw = 0.1;           % Constante velocidad angular
rp = 30;            % Radio de protección [mm]
ap = 15;            % Ángulo de protección [°]
```

Las primeras dos constantes corresponden a las constantes de proporcionalidad que aparecen en las ecuaciones para calcular la velocidad lineal y angular del robot. Modificando los valores de estas constantes es posible cambiar la magnitud de las velocidades, tanto lineal como angular.

Las otras dos constantes, denominadas radio de protección y ángulo de protección, establecen el error que puede tener el robot en la posición final con respecto a la posición objetivo. Estas constantes son necesarias debido a que resulta muy difícil que el robot se ubique exactamente en el punto objetivo, por lo que se establece un rango de error pequeño en el que se considera que el robot ya ha llegado al objetivo y debe detenerse. En el código presentado se indica un radio de protección de 30 [mm], es decir, el robot se detendrá cuando se encuentre a una distancia menor o igual de 30 [mm] del objetivo. En lo que respecta al ángulo de protección se tiene algo muy similar, cuando el error entre la dirección del robot y la dirección a la que se encuentra el objetivo sea menor a 15°, se considera que el robot ya está orientado hacia el objetivo. Estos valores pueden ajustarse dependiendo de la precisión del robot móvil que se esté utilizando.



## Práctica No. 5



Departamento de Mecatrónica

Mechatronics Research Group

Una vez que se tienen definidas las constantes requeridas se programan las ecuaciones que corresponden al cálculo de la velocidad lineal y la velocidad angular del robot.

```
%Distancia del robot al objetivo
d_obj=sqrt((x_o-x_a)^2+(y_o-y_a)^2);

%Calculo de velocidad lineal
v = kv * d_obj;

%Angulo con respecto al eje x del robot al objetivo
a_o = atan2(y_o-y_a, x_o-x_a)*180/pi;

%Diferencia entre orientación del robot y deseada
da_obj = a_o - (a_a + 90);

%Ajuste de ángulo entre -180 y 180
if (da_obj > 180)
    da_obj = da_obj - 360;
end

if (da_obj < -180)
    da_obj = da_obj + 360;
end

%Cálculo de velocidad angular
w = kw * da_obj;
```

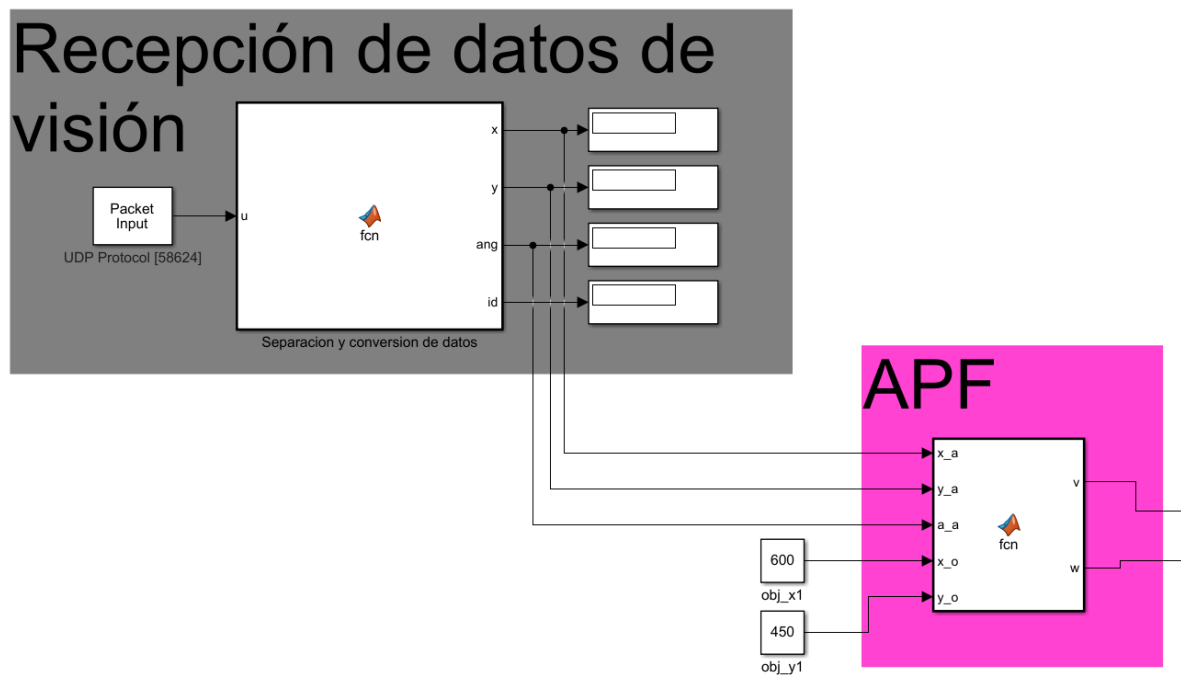
Adicionalmente, se considera en la programación el radio de protección y el ángulo de protección, haciendo que la velocidad correspondiente sea cero si el robot ya se encuentra dentro de estos rangos de error.

```
if (d_obj < rp)
    v = 0;
end
if (abs(da_obj) < ap)
    w = 0;
end
```

## b) Recepción de datos del sistema de visión y asignación de objetivo fijo

En la práctica 1 se desarrolló un sistema de visión capaz de detectar marcadores utilizando una cámara web y el software de ReactIVision, y se realizaron los ajustes necesarios para recibir la información de la posición y orientación del marcador directamente en un programa de Simulink. En esta práctica se hará uso de este mismo sistema de visión para retroalimentar la posición y orientación del robot. Se recomienda consultar la práctica 1 para recordar la implementación y funcionamiento del sistema de visión.

Desde el bloque del sistema de visión deben conectarse las entradas correspondientes a la posición y orientación del robot como se muestra en la Figura 4.



*Figura 4. Conexión entre los datos provenientes del sistema de visión y el bloque correspondiente al método de campos potenciales.*



## Práctica No. 5



Departamento de Mecatrónica

Mechatronics Research Group

Adicionalmente, se introducen dos bloques de tipo “Constant” que permitirán indicar las coordenadas del punto objetivo a donde debe desplazarse el robot. En cuanto a las salidas del bloque APF, éstas se conectarán a las entradas del bloque correspondiente a la cinemática del robot, sustituyendo los valores constantes que se utilizaron en la práctica 4.

Con estas modificaciones, el programa queda terminado para controlar el desplazamiento del robot a un punto fijo utilizando el método de campos potenciales artificiales. Para poder ejecutar el sistema vale la pena recordar lo siguiente:

1. Establecer una red local para comunicación Wifi con el robot (véase práctica 2).
2. Conectar el módulo ESP-8266 a la red (véase práctica 2).
3. Configurar las direcciones IP y puertos para la comunicación. (véase práctica 2)
4. Correr el programa ejecutable de ReactIVision (véase práctica 1).
5. Correr el programa de C# para envío de los datos desde ReactIVision hacia el programa de Simulink (véase práctica 1).
6. Correr el programa de Simulink.

Tras ejecutar el sistema correctamente, es posible hacer que el robot se desplace hasta cualquier punto dentro del espacio de trabajo, indicando las coordenadas de ese punto directamente en los bloques de tipo “Constant” que corresponden al objetivo. Es conveniente también utilizar el interruptor de paro para detener el robot móvil cuando sea necesario, por ejemplo, durante la asignación de nuevas coordenadas del punto objetivo. También resulta importante colocar el marcador adecuadamente sobre el robot móvil, de tal forma que sea visible con la cámara y que tenga la misma orientación que el robot móvil.

## Antes de continuar con la práctica:

- Programar el bloque del método de campos potenciales artificiales en Simulink.
- Incluir en el programa de Simulink la recepción de datos desde el sistema de visión (véase práctica 1).
- Verificar el funcionamiento del sistema. Para esto es necesario correr adecuadamente todos los programas, verificar que la recepción de datos de la posición y orientación del robot es correcta, verificar que los cálculos de la velocidad lineal y angular se realizan correctamente y corresponden con el giro de las ruedas del robot, comprobar que el robot se desplaza hasta las coordenadas indicadas como objetivo.

## Recomendaciones:

- Puede ser necesario ajustar los valores de las constantes  $k_v$ ,  $k_w$ ,  $r_p$  y  $a_p$  para lograr el comportamiento adecuado del robot móvil.
- Debe prestarse atención a las unidades que se están utilizando en las diferentes partes del sistema, por ejemplo, para el programa aquí presentado se utilizaron como unidades de longitud los milímetros, tanto en el sistema de visión, como en el programa de Simulink.
- Es recomendable utilizar bloques “Display” para mostrar los diferentes datos que se están calculando, con la finalidad de facilitar la detección y corrección de errores en el programa de Simulink.
- Es recomendable iniciar la ejecución del programa de Simulink con el interruptor de paro activado, de tal forma que pueda verificarse el funcionamiento del sistema de visión y de los cálculos del bloque de APF y cinemática antes de activar el movimiento del robot.



## Práctica No. 5



Departamento de Mecatrónica

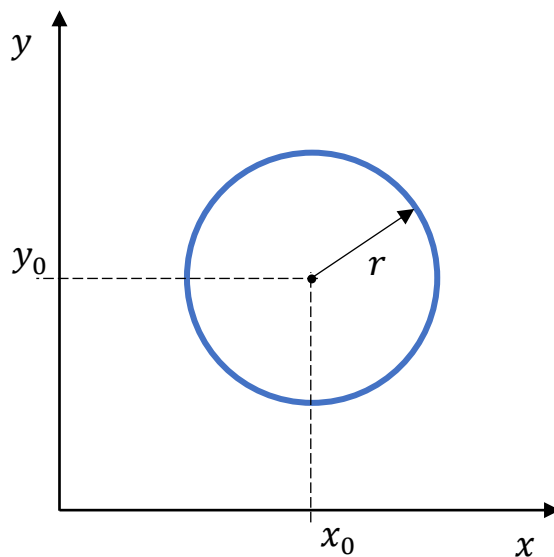
Mechatronics Research Group

### c) Seguimiento de trayectorias

En la sección anterior se logró controlar el desplazamiento del robot móvil diferencial desde su posición actual hasta una posición establecida como objetivo, sin embargo, esta posición se establece como un par de coordenadas fijas. Otra manera de controlar el desplazamiento del robot móvil es mediante el seguimiento de trayectorias, es decir, no solamente indicar un punto fijo como objetivo, sino que se desea que el robot se mueva a lo largo de una trayectoria específica, por ejemplo, en una circunferencia.

Una forma de lograr esto es utilizando el mismo método de campos potenciales artificiales, pero ahora ir cambiando la posición del objetivo con respecto al tiempo para que se vaya generando la trayectoria deseada. Para lograr esto, es necesario conocer las ecuaciones parametrizadas con respecto al tiempo de la trayectoria que se desea seguir.

Por ejemplo, para una circunferencia se tienen las siguientes ecuaciones paramétricas:



$$x = x_0 + r \cos(nt)$$

$$y = y_0 + r \sin(nt)$$

*Figura 5. Ecuaciones paramétricas de una circunferencia.*

Donde:

$(x_0, y_0)$  son las coordenadas del centro de la circunferencia.

$r$  es el radio de la circunferencia.

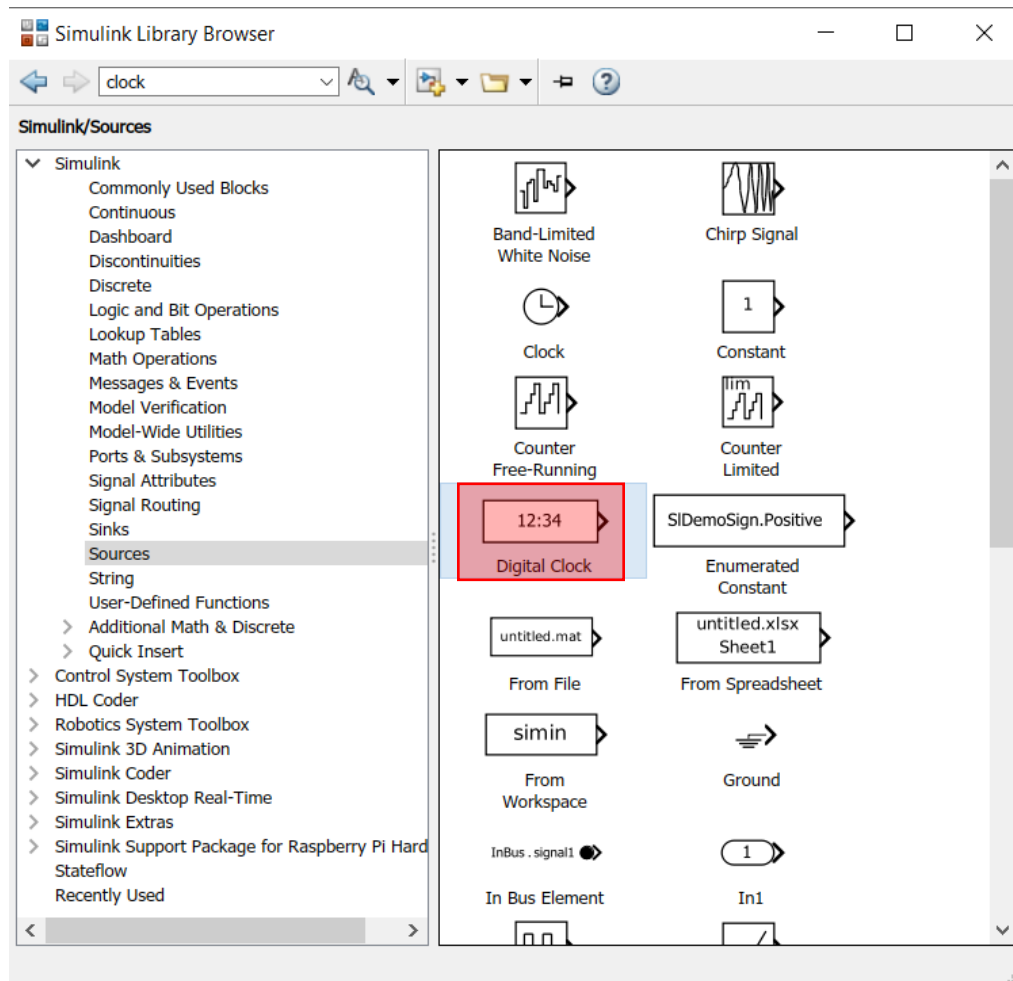
$t$  es el parámetro que corresponde al tiempo.

$n$  es la constante de tiempo que determina la velocidad de la trayectoria.

Las coordenadas  $(x_0, y_0)$  deberán ajustarse a la posición deseada para el centro de la circunferencia, recordando que estos valores deben coincidir en unidades con las de el sistema de visión. El valor de  $r$  determinará el tamaño de la circunferencia, mientras que el valor de  $n$  determinará la velocidad con la que se hará la trayectoria. Si  $n$  toma un valor entre 0 y 1, la velocidad de la trayectoria será menor, mientras que valores mayores a 1 dan como resultado una velocidad mayor en la trayectoria. Este valor resulta importante, ya que la velocidad de la trayectoria debe ajustarse a una velocidad que el robot móvil sea capaz de seguir, de lo contrario el robot móvil no logrará seguir correctamente la trayectoria.

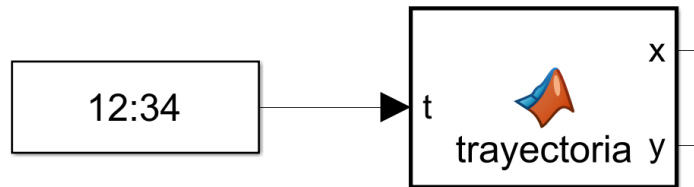
Con este par de ecuaciones es posible establecer una trayectoria circular, sustituyendo las coordenadas fijas por las ecuaciones paramétricas en función del tiempo. Para poder utilizar el parámetro del tiempo dentro del programa de Simulink puede utilizarse un bloque de tipo “Digital Clock”, este bloque puede encontrarse dentro de la librería de bloques de Simulink en la sección Simulink /Sources como se muestra en la Figura 6. Este bloque tiene como salida el tiempo de simulación durante la ejecución del programa, por lo que será este valor el que se utilizará como parámetro de tiempo en las ecuaciones paramétricas de la trayectoria.





*Figura 6. Bloque de tipo “Digital Clock” en la librería de bloques de Simulink.*

Adicionalmente, se utilizará un bloque de tipo “MATLAB Function” para programar las ecuaciones paramétricas de la trayectoria, este bloque tendrá como entrada el parámetro del tiempo ( $t$ ) y como salidas las coordenadas ( $x, y$ ) de la trayectoria, las cuales irán cambiando con respecto al tiempo. Este bloque se muestra en la Figura 7.



*Figura 7. Bloques para programación de la trayectoria parametrizada con respecto al tiempo en Simulink.*

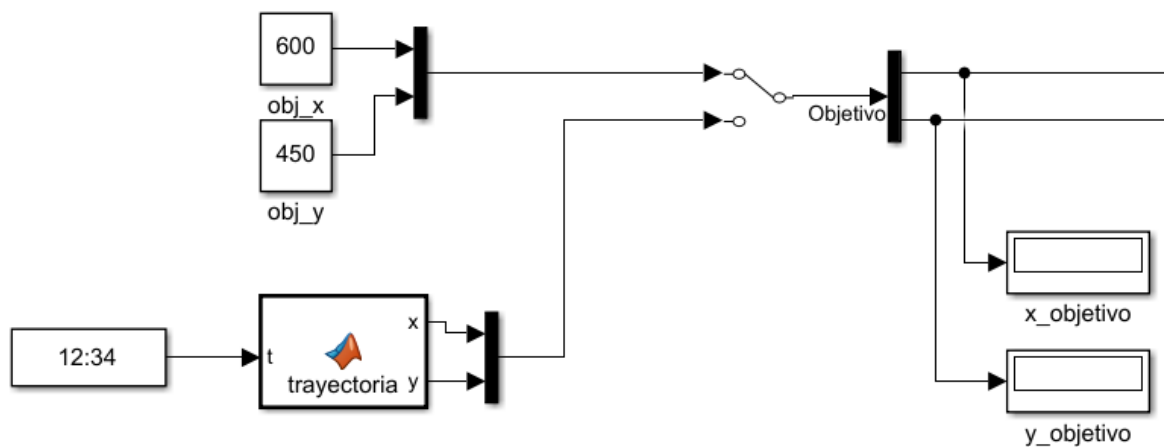
Al interior del bloque denominado trayectoria se debe programar la función que realiza los cálculos de las coordenadas de la trayectoria que se desea seguir con el robot móvil. Por ejemplo, para establecer una trayectoria circular se utilizó la función que se muestra a continuación:

```
function [x,y] = trayectoria(t)
    x = 300*cos(t/10)+600;
    y = 300*sin(t/10)+450;
end
```

Vale la pena recordar que los valores de las ecuaciones de la trayectoria deberán ajustarse para realizar una trayectoria en la que el robot se mantenga dentro del campo de visión de la cámara, y que el sistema de referencia del espacio de trabajo y las unidades deben coincidir con las que se utilizaron en el sistema de visión.

Introduciendo las coordenadas (x,y) calculadas en este bloque en el bloque de campos potenciales artificiales como objetivo, se logra que el robot se traslade dentro del espacio de trabajo, siguiendo la trayectoria propuesta, en este caso una circunferencia.

Para permitir que sean utilizados tanto el control del desplazamiento del robot a un punto fijo como el seguimiento de una trayectoria, se propone utilizar un bloque de tipo “Manual Switch”, junto con bloques de tipo “Mux” y “Demux”, de tal forma que permitan seleccionar entre las coordenadas fijas y las coordenadas calculadas para la trayectoria. Una forma de lograr esto es mediante la estructura que se muestra en la Figura 8.

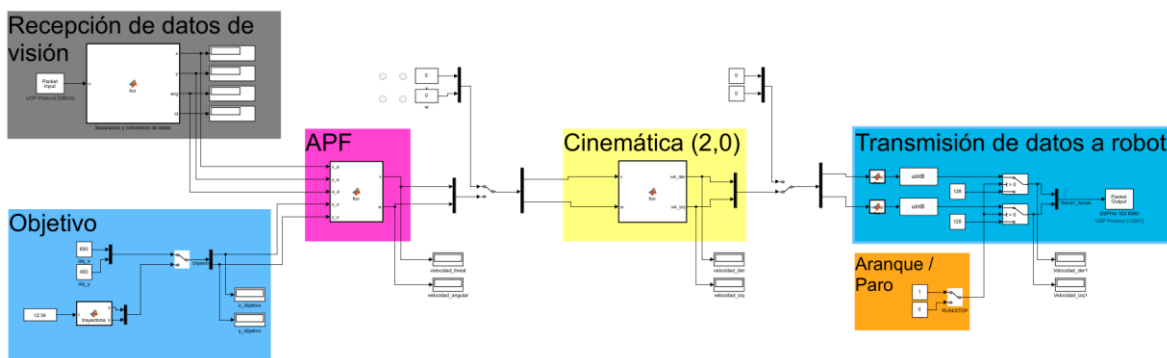


*Figura 8. Diagrama de bloques de Simulink para seleccionar entre un objetivo fijo y seguimiento de trayectoria.*

Por último, es necesario unir todas las secciones que conforman el programa para que funcione correctamente, en la Figura 9 se presenta la visualización completa del programa creado, en la que se aprecian las siguientes secciones:

- **Recepción de datos de visión:** en esta sección se recibe la información de la posición y orientación del robot móvil proveniente del sistema de visión con ReactIVision.
- **Objetivo:** en esta sección se establece el objetivo de desplazamiento del robot móvil, puede ser un punto fijo o el seguimiento de una trayectoria parametrizada con respecto al tiempo.

- **APF:** en este bloque se encuentra programado el método de campos potenciales artificiales, el cual utiliza la información de la posición actual del robot y del objetivo para determinar el comportamiento que deberá tener el robot móvil. Como salidas de este bloque se tienen la velocidad lineal y la velocidad angular del robot.
- **Cinemática (2,0):** en esta sección se encuentra programado el modelo cinemático del robot móvil. Éste se utiliza para traducir las velocidades lineal y angular del robot en las velocidades de giro de sus ruedas.
- **Transmisión de datos a robot:** en esta sección se realiza la configuración de la comunicación Wifi con el controlador ESP-8266 que se encuentra montado sobre el robot. Se envían los datos de la velocidad de giro de cada una de las ruedas y el robot controla los motores para lograr dichas velocidades.
- **Arranque/Paro:** este interruptor permite activar o desactivar el movimiento del robot en cualquier momento durante la ejecución del programa.



*Figura 9. Programa completo de Simulink para el control del robot móvil diferencial.*



## Práctica No. 5

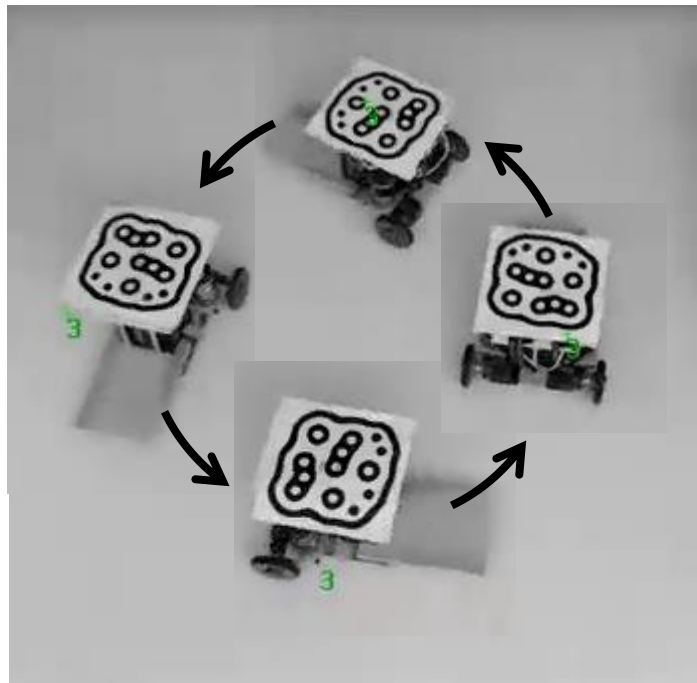


Departamento de Mecatrónica

Mechatronics Research Group

Corriendo adecuadamente el sistema desarrollado deberá observarse que el robot móvil sigue la trayectoria que se estableció en el programa. Para las ecuaciones aquí presentadas se realiza una trayectoria circular como se muestra en la Figura 10.

Durante la ejecución de la trayectoria, la velocidad lineal y la velocidad angular del robot móvil se ajustan mediante el método de campos potenciales para seguir el objetivo que se desplaza en la trayectoria deseada. Es importante ajustar la velocidad a la que se realiza la trayectoria, ya que, si es muy rápida para el robot móvil, éste no podrá seguirla bien y no se realizará correctamente. En este caso, una trayectoria muy rápida provoca que el robot no alcance a llegar a los extremos y se produce una circunferencia de menor tamaño que la indicada.



*Figura 10. Seguimiento de trayectoria circular con robot móvil diferencial.*



Departamento de Mecatrónica

Mechatronics Research Group

**Realiza las siguientes actividades para concluir con la práctica:**

- Realizar las modificaciones al programa de Simulink para que pueda recibir, además de un objetivo fijo, una trayectoria para el desplazamiento del robot móvil.
- Programar una trayectoria circular mediante sus ecuaciones paramétricas en función del tiempo de simulación.
- Verificar que todos los componentes del programa estén conectados correctamente e identificar todas las partes del programa.
- Iniciar el sistema y verificar que el comportamiento del robot móvil cumple con la trayectoria objetivo. En caso de ser necesario ajustar los parámetros para que la trayectoria sea adecuada, tanto para el robot móvil como para el espacio de trabajo.
- Probar el sistema con una trayectoria diferente, por ejemplo, con una curva de Lissajous o alguna otra geometría cerrada como trayectoria.

## **7. Resultados**

Como resultado de esta práctica se debe entregar el programa de Simulink utilizado para implementar el sistema, así como un video en el que se explique su funcionamiento y se observe el movimiento del robot, tanto para el desplazamiento a un punto fijo como para el seguimiento de trayectoria, con dos trayectorias distintas.



## Práctica No. 5



Departamento de Mecatrónica

Mechatronics Research Group

### 8. Conclusiones

En esta práctica se logró implementar el control del desplazamiento del robot móvil diferencial, incluyendo el desplazamiento punto a punto y el seguimiento de trayectorias. Si bien existen múltiples metodologías para definir el comportamiento de los robots móviles, una aproximación que logra buenos resultados de forma simple es el método de campos potenciales artificiales. Con este método no se tiene completamente definida una trayectoria para el robot desde el inicio, sino que su comportamiento se va ajustando en función de su posición relativa al objetivo. Esta misma metodología de campos potenciales puede ajustarse para otras funciones, por ejemplo, se puede incluir la evasión de obstáculos o definir el comportamiento de un sistema multi agente con metodologías de enjambre.

También se logró una integración con todos los módulos desarrollados en las prácticas, incluyendo el sistema de visión, la conexión con Wifi, el control de velocidad de las llantas y el modelado del robot móvil. Como se observó, cada una de estas partes cumple una función importante en el control de los robots móviles.

### Bibliografía

- [1] R. Arkin, *"Behavior Based Robotics"*, 2000.
- [2] V. J. González Villela, "Evadiendo obstáculos con robots móviles", Revista Digital Universitaria DGSCA UNAM, Vol. 5 N. 1, 2005.

Todos los derechos reservados, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México © 2020. Quedan estrictamente prohibidos su uso fuera del ámbito académico, alteración, descarga o divulgación por cualquier medio, así como su reproducción parcial o total.