Marta Rosa Flores // Daniel Triano Moreno

ampliación de robótica

Memoria de prácticas: Robots Móviles

Índice:

[Práctica 1: Modelado de un vehículo y seguimiento de caminos. 2](#_Toc71643290)

[Apartado 1.1: 2](#_Toc71643291)

[Apartado 1.2: 3](#_Toc71643292)

[Apartado 1.3: 3](#_Toc71643293)

[Práctica 2: Localización basada en EKF 4](#_Toc71643294)

[Apartado 2.1 4](#_Toc71643295)

[Apartados 2.2 4](#_Toc71643296)

[Apartado 2.3 7](#_Toc71643297)

[Práctica 3: Evitar Obstáculos 9](#_Toc71643298)

[Apartado 3.1 9](#_Toc71643299)

[Apartado 3.2 10](#_Toc71643300)

[Apartado 3.3 11](#_Toc71643301)

[Práctica 4: Planificación de caminos (Dijkstra) 12](#_Toc71643302)

[Apartado 4.1 12](#_Toc71643303)

[Práctica 5: Ampliación de caminos (A\*) 20](#_Toc71643304)

[Apartado 5.1 20](#_Toc71643305)

[Apartado 5.2 21](#_Toc71643306)

[Apartado 5.3 22](#_Toc71643307)

[Práctica 6: Navegación Autónoma 24](#_Toc71643308)

[Apartado 6.1 24](#_Toc71643309)

[Apartado 6.2 26](#_Toc71643310)

[Apartado 6.3 27](#_Toc71643311)

# Práctica 1: Modelado de un vehículo y seguimiento de caminos.

Se desea simular el movimiento de un vehículo con tracción diferencial con los siguientes parámetros: distancia entre ruedas 0.8 m, radio de las ruedas 0.1 m, velocidad máxima de las ruedas 15 rad/s. Para ello se tendrán que implantar las ecuaciones de movimiento así como el modelo dinámico simplificado de los dos actuadores. Se considerará una constante de tiempo de 0.12 s, ganancia unidad. Se pide:

## Apartado 1.1:

**Simular el movimiento en tiempo discreto con periodo de T = 25 ms partiendo desde parado y aplicando actuaciones constantes. Considerar las siguientes situaciones: trayectoria recta, giro a la izquierda, giro a la derecha y velocidad lineal nula.**

Antes de realizar alguna explicación de la solución obtenida, se van a enumerar las fórmulas necesarias para una correcta explicación:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |
|  | (2) |
|  | (3) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |
| 𝛥𝑠 = 𝑣 ⋅ 𝛥𝑡 | (5) |
| 𝛥𝜙 = 𝜔 ⋅ 𝛥𝑡 | (6) |
| 𝛥𝑥 = −𝑠𝑖𝑛(𝜙) ∙ 𝛥𝑠 | (7) |

Para poder resolver este apartado se han realizado distintos bloques. El primer de ellos serían los motores (ver **Figura 1**) y para ello se tratará de implementar las ecuaciones (3) y (4), tal y como muestra la **Figura 2**.

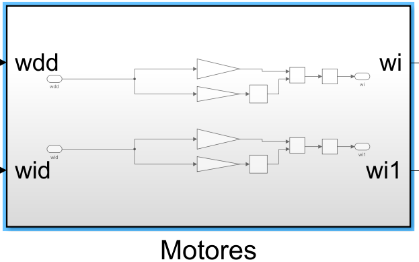
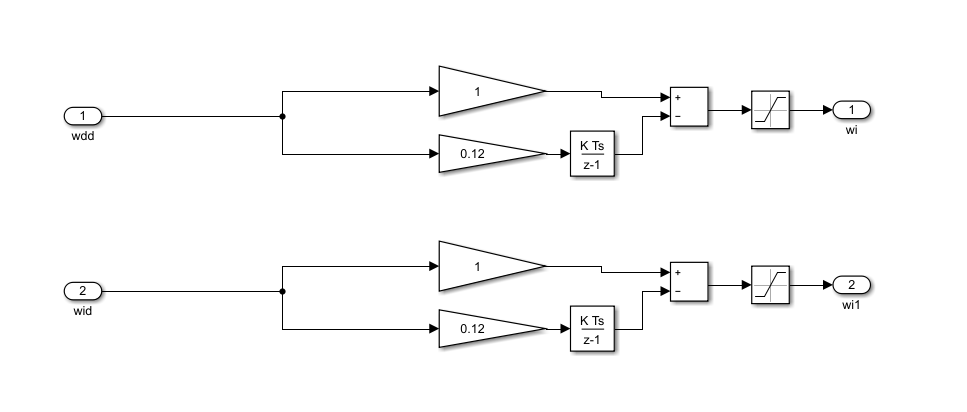


Figura : Imagen del subsistema “motores”



**Figura 2: Interior del subsistema “motores”**

Tras una inspección superficial de las ecuaciones (3) y (4) se puede ver que son simétricas, donde simplemente varían las velocidades, izquierda para la primera y derecha para la segunda.

Para el caso de la rueda derecha se multiplica por una ganancia unitaria y se resta a la constante de tiempo discretizada. Se realiza el mismo procedimiento para ambos casos si bien al final del recorrido se le añade una saturación en 15 rad/s.

## Apartado 1.2:

**Simular la navegación punto a punto del robot móvil a una velocidad de 1.2 m/s**

## Apartado 1.3:

**Empleando el método de Persecución Pura se pretende que el robot móvil recorra un pasillo largo a una velocidad de 0.3 m/s.**

# Práctica 2: Localización basada en EKF

## Apartado 2.1

**Completar la fase de predicción (función predict) con las matrices jacobianas correspondientes al modelo de conducción anterior.**

En primer lugar, se carga el mapa a recorrer tal y como se comenta en el enunciado. Si se acude a la función predict se puede observar cómo están definidas las derivadas parciales en función de u[V,G], tal y como muestra la Figura 3

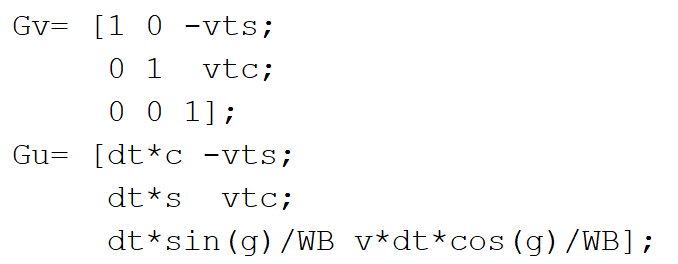


Figura 3: Matrices derivadas parciales

Tras ejecutar la función **ekfloc(lm,wp)** (ver Figura 4 se analizan los siguientes resultados.

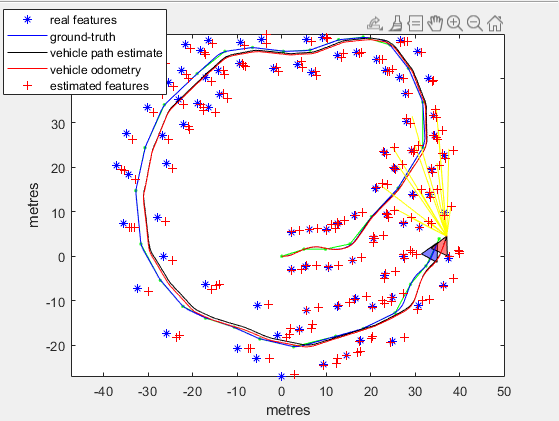


Figura 4: Resultado con parámetros actuales

Se observa una cierta discrepancia entre la odometría y el camino recorrido, así como las marcas de entorno previstas y las reales.

## Apartados 2.2

**Calcular el error cuadrático medio en la distancia y ángulo de orientación a lo largo de la trayectoria, según la ecuación:**

Si queremos analizar cómo afectas los distintos parámetros de ruido, ya sea de control o de observación, debemos acudir al archivo ***configfile,*** donde se modificar los parámetros correspondientes a las distintas sigmas (ver Figura 5).

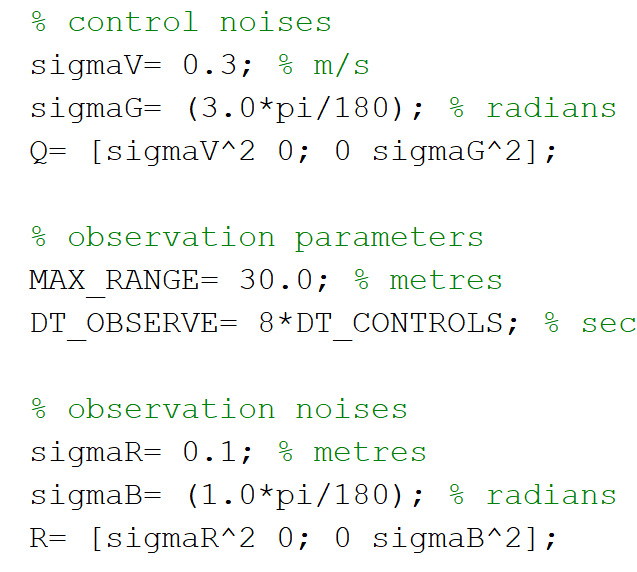


Figura 5: Parámetros para cada tipo de sigma.

Para ver el error medio tanto en X, en Y como en Theta, se ha implementado la función llamada ***graficaMartaDani*** (ver Figura 6).

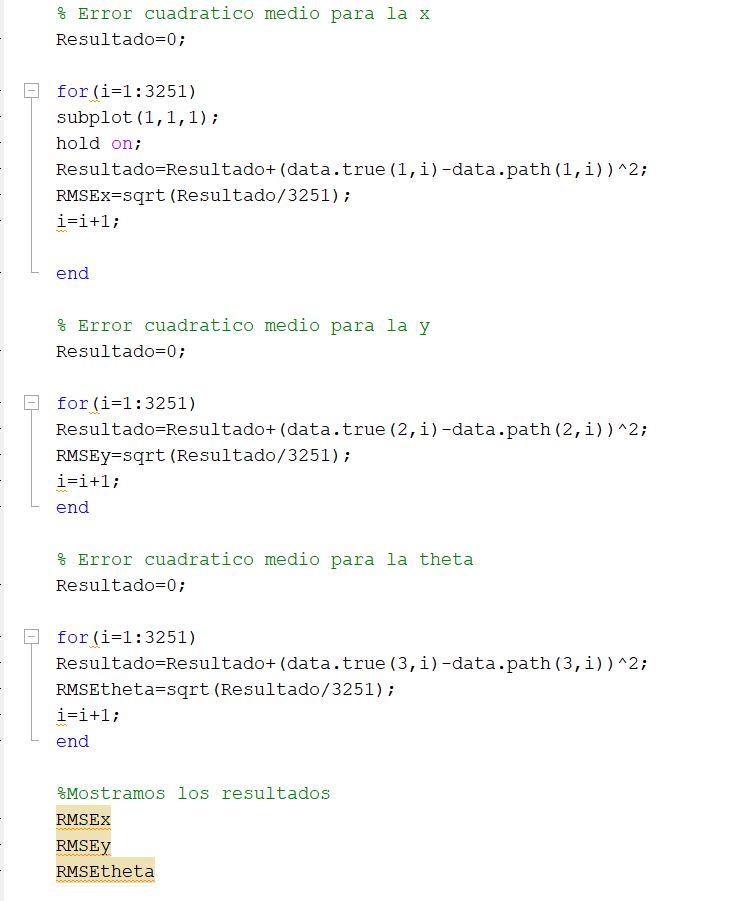


Figura 6: Código del archivo "GraficaMartaDani".

Donde simplemente cogemos la columna correspondiente a cada variable para poder calcular su error. Se utiliza un bucle for de 3251 iteraciones dado que ese es el tamaño de nuestra función (ver Figura 7).

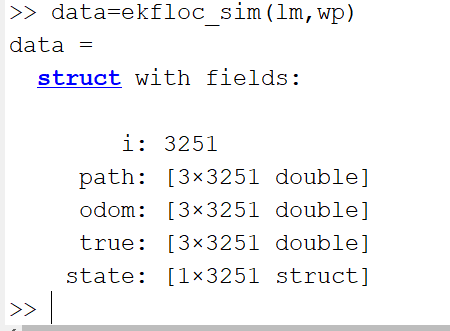


Figura 7: Estructura obtenida tras ejecutar ekfloc.

Así pues, se observa el error sin modificar ningún parámetro, obteniendo los siguientes resultados ver Figura 8:

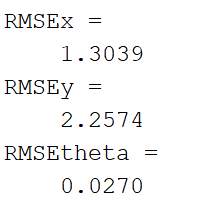


Figura 8: Errores obtenidos (I)

Se observa un mayor error en Y, y casi nulo en theta.

## Apartado 2.3

**Realizar simulaciones para distintos valores de incertidumbre en el control del vehículo y de la observación (al menos un cambio en cada uno de ellos). Modificar dichas incertidumbres en el fichero de parámetros (configfile). Estudiar su influencia en el resultado calculando el error cuadrático medio en cada caso y comentar las conclusiones.**

Si ahora se aumenta el valor de SigmaV por tres veces el valor anterior, se observa la Figura 9:

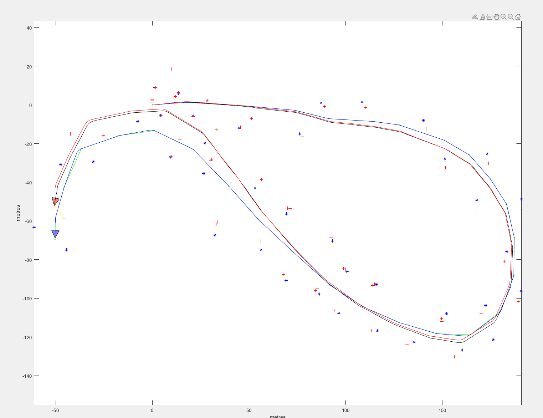


Figura 9: Resultados tras modificar SigmaV.

Se puede ver a simple vista y sin realizar cálculos que el error ha aumentado, sobre todo en el eje Y donde se dispersan más los puntos. Comprobamos eso en al calcularlo (ver la Figura 10)

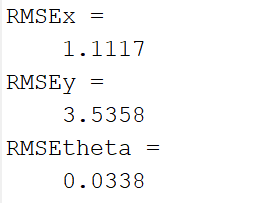


Figura 10: Errores obtenidos (II)

Confirmamos la previsión, el error en Y ha aumentado al aumentar el ruido de control SigmaV.

Si ahora modificamos SigmaG (ver Figura 11), vemos que no solo aumenta el error en Y si no que también aumenta en X (ver Figura 12).

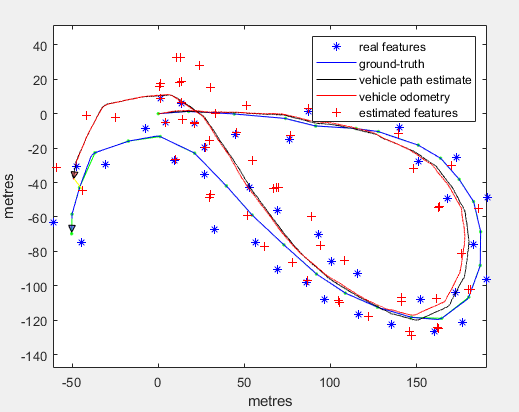
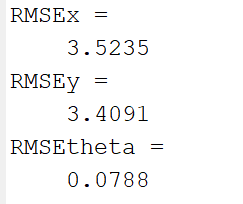
 

Figura 11: Resultados tras modificar SigmaG.  Figura 12: Errores obtenidos (III)

A su vez el error en theta duplica con respecto al anterior caso.

Modificamos a continuación los ruidos de observación, pasando de un SigmaR=0.1 a SigmaR=0.5 metros. Se observa la siguiente gráfica (ver Figura 13) donde claramente el error es menor respecto a las anteriores. Todo esto se confirma al ver el error real (Figura 14).

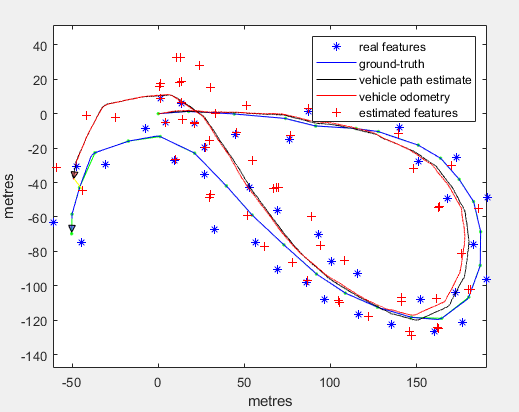
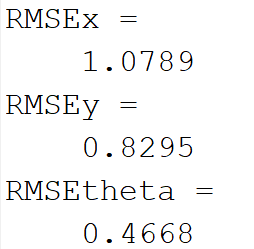
 

Figura 13: Resultados tras modificar SigmaR. Figura 14: Errores obtenidos (IV)

Al realizar la última modificación, pasando a una sigmaB tres veces mayor, se observa un aumento del error en theta bastante notable. El error en X y en Y también aumenta pero en menor proporción. Todo esto se refleja a continuación.

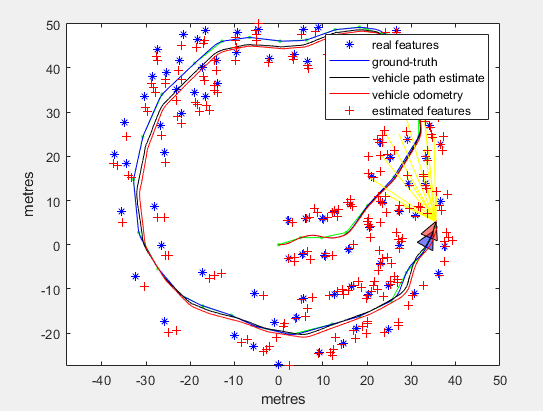
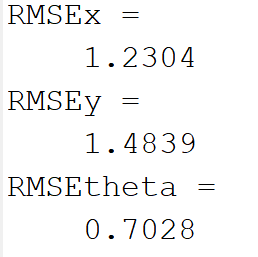
 

Figura 15: Resultados tras modificar SigmaB Figura 16: Errores obtenidos (V)

Como conclusión podemos ver que al aumentar el ruido la posición real del robot varía más que el camino que sigue la odometría. Si disminuimos el error se acercará por lo tanto al camino de la odometría, aumentando así la exactitud.

# Práctica 3: Evitar Obstáculos

## Apartado 3.1

**Completar el script denominado plantilla para conseguir la navegación reactiva del robot según el método de campos potenciales.**

Se ha hecho una función que se encarga de detectar los obstáculos del mapa, para ello hemos hecho dos bucles for de una amplitud X e Y, que serán las proporciones del mapa seleccionado. Si se detecta un píxel de valor de valor 0, significará que se ha encontrado un pixel negro y por lo tanto un obstáculo (ver Figura 3

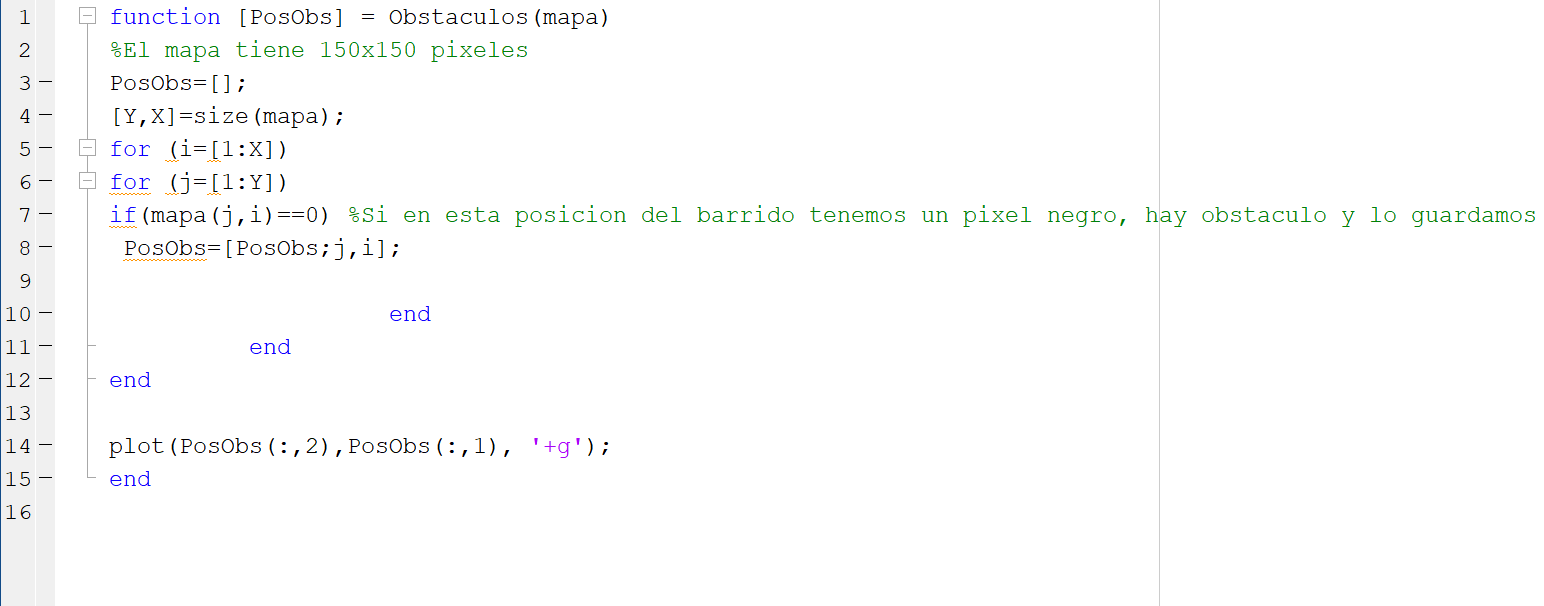
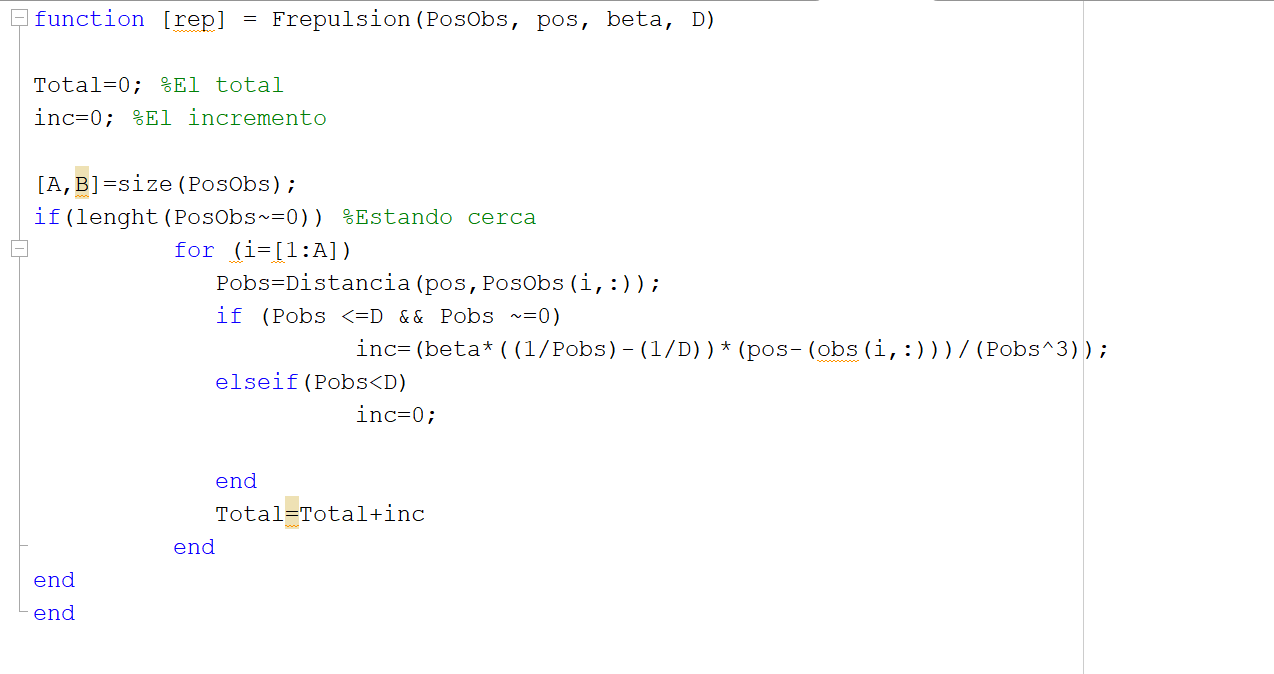


Figura 17

Mediante las siguientes ecuaciones, proporcionadas en las diapositivas de clase, se han implementado dos funciones, para calcular la fuerza de atracción y de repulsión respectivamente (ver ecuaciones 8 y 9).

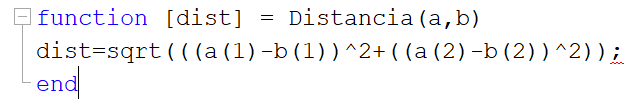
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | (8) | (8) |
| = | (9) | (9) |

Dado que la fuerza de repulsión vale cero si no se cumple la condición, debemos emplear un condicionante IF, como se detalla en Figura 1grt8.



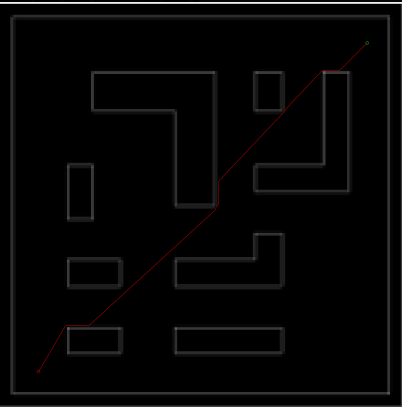
Figura

Se implementa una sencilla función llamada Distancia que calcula la distancia que hay entre dos puntos, como se puede observar en la Figura 19:



Figura

Al ejecutar el programa, observamos que gracias al cálculo de las fuerzas de repulsión, el robot es capaz de esquivar los obstáculos y alejarse de ellos, consiguiendo llegar desde el punto inicial al final sin chocar contra ellos, tal y como se aprecia en la figura 20.

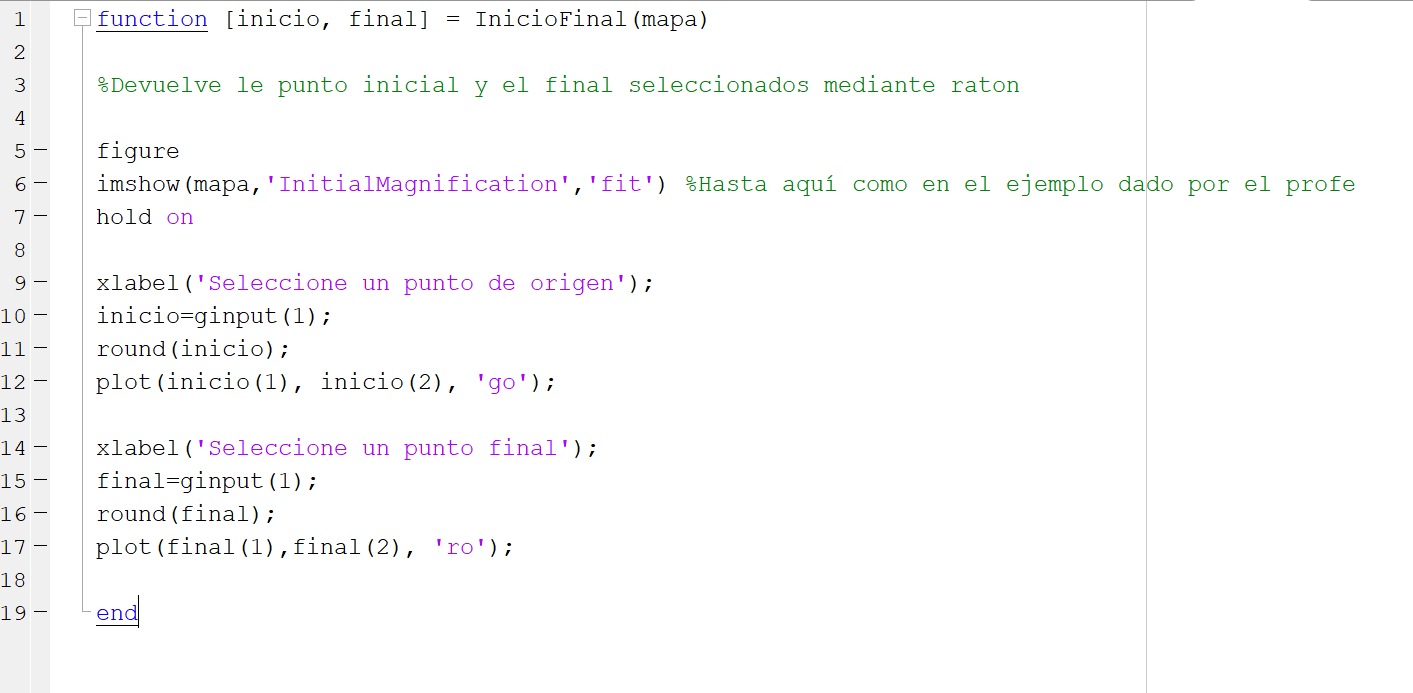


Figura

## Apartado 3.2

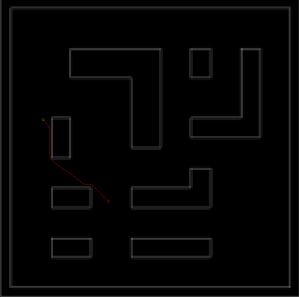
**Modificar adecuadamente el programa de Matlab anterior para permitir poder elegir cualquier origen y destino sobre el mapa, empleando para ello la función ginput().**

Dado que en este aparto se pide poder elegir de manera manual la posición de inicio y de final, lo que se ha realizado es una función que muestre en pantalla un mensaje para que el usuario elija un punto de inicio y al hacer clic se guardará es punto como entrada. De la misma manera se hace con el punto final. Esto se puede ver desarrollado en la Figura 21:



Figura

Tras implementar el código, se nos permite elegir un punto de inicio y otro de destino en el propio mapa. En la Figura 22 se observa el robot esquivando los obstáculos para alcanzar el punto de destino elegido.



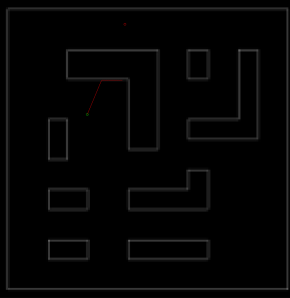
Figura

## Apartado 3.3

**Realizar varios experimentos con diferentes orígenes y destinos. Cambiar los parámetros del método, como α y β, o cualquier otro, para tratar de mejorar la situación. Poner el destino y origen en una situación de mínimo local (situación de trampa local), ¿es posible que el método pueda encontrar la solución sin modificarlo y cambiando solo los parámetros anteriormente mencionados?**

Este método de navegación presenta un inconveniente, y este es que alcanza situaciones en las que se encuentra un mínimo local que provoca que las fuerzas de repulsión bloqueen el movimiento en todas las direcciones.

Otro de los casos en los que se encuentra un mínimo local es en situaciones como la dada en la Figura 23, en la que el robot no encuentra la forma de llegar al destino rodeando el obstáculo sin alejarse de él, por lo que se detiene.



Figura

Al probar a modificar los parámetros, nos damos cuenta de que, al aumentar el valor de beta, aunque el robot debería acercarse menos a los obstáculos, no hay un cambio sustancial en el resultado obtenido.

Al cambiar el valor de alfa, igual que en el caso anterior, no hay un gran cambio aunque se suaviza la trayectoria, alejándose ligeramente más de los obstáculos.

Estos dos parámetros por sí mismos no consiguen solucionar el problema de los mínimos locales.

# Práctica 4: Planificación de caminos (Dijkstra)

## Apartado 4.1

**Implementar el algoritmo de Dijkstra como una función de Matlab que devuelva el coste y la ruta óptima a partir de un origen y un destino pasados como parámetros, además del mapa topológico o grafo, que se le pasará a la función como una matriz NxN, que almacena el coste de llegar del nodo n1, como fila, al nodo n2, como columna. La función se debe implementar de forma que la llamada Dijkstra devuelva el coste de llegar desde el nodo origen al nodo destino, y un vector con la lista de nodos que componen la ruta (incluidos los nodos inicial y final).**

El algoritmo de Dijkstra es conocido como algoritmo de caminos mínimo porque consiste en encontrar el camino más optimo posible teniendo en cuenta los costes de desplazamiento.

Así pues, se van a realizar una serie de funciones que, trabajando de manera coordinada, consigan hallar tanto el coste total del desplazamiento, así como la ruta que seguirá dicho coste.

El mapa topológico seguido, el cual se detalla en la presentación es la siguiente (ver Figura 3).

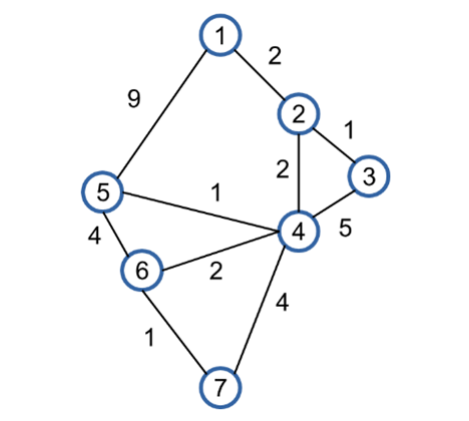


Figura 24: Mapa topológico de costes y nudos.

Si se representa dicho mapa en forma matricial, se consigue la siguiente matriz (ver Figura 4):

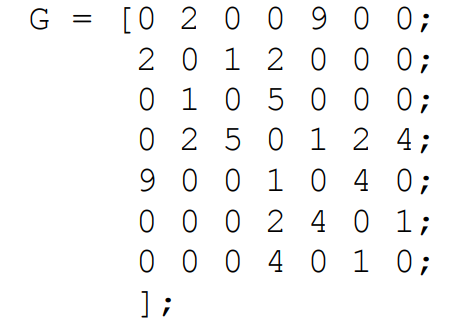


Figura 25: Matriz topológica de costes.

Mediante la manipulación de dicha matriz, es como se conseguirá el camino mínimo deseado.

Se implementa la función global *Dijkstra* (ver Figura 5) que a su vez está compuesta por otras subfunciones.



Figura 26: Función Dijkstra implementada.

Antes de proceder a la explicación de dicha función y dado que utiliza otras subfunciones, se va a detallar en primer lugar el procedimiento de cada subfunción y después el código general anteriormente mostrado.

La función Default (ver Figura 6), tiene como entrada la matriz topológica de costes. En primer lee y almacena el tamaño de matriz topológica de costes y se comprueba que la matriz es simétrica, es decir, tiene el mismo número de columnas. En caso contrario significaría que la matriz topológica de costes no proporciona los costes asociados a todos los caminos posibles.

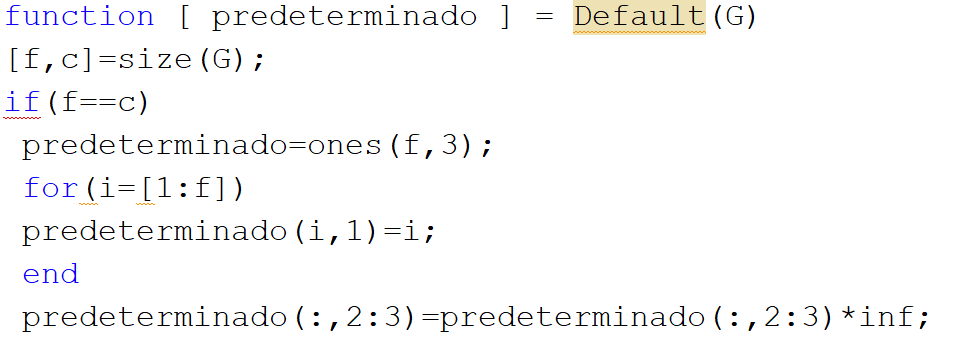


Figura 27: Función Default.

En función del tamaño de la matriz simétrica se crea una matriz con tantas filas como nodos hay. Además, dicha matriz tiene tres columnas. La primera de ellas está enumerada del 1 hasta f, dado que f es el tamaño de la matriz que estamos analizando, pues recordemos que es simétrica. Dicha primera columna representará pues todos los nodos presentes en nuestro sistema. La segunda y la tercera, en la primera iteración se inicializarán en infinito, dado que no se sabe en dicha primera iteración si por ejemplo del punto uno se puede ir al punto 4 y su coste asociado. La tercera representa el punto al que se desplaza y la segunda el coste referido a desplazarse desde el punto marcado por la primera columna, hacia el nodo marcado por el de la tercera.

La función *ReorganizarMatriz* (ver Figura 7) tiene como entradas la matriz de infinitos previamente creada, el punto de origen dado al inicio, el de partida, la posición actual en la que se encuentra, el coste asociado a desplazarse al nodo siguiente y el nodo siguiente al que se quiere desplazar.

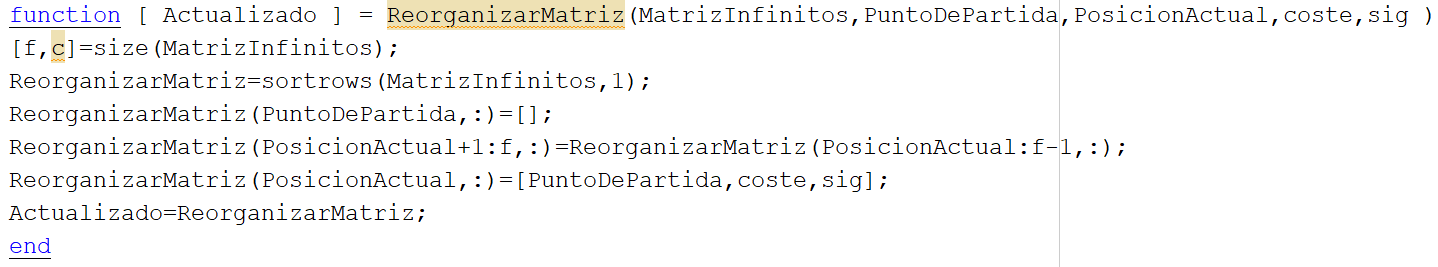


Figura 28: Función ReorganizarMatriz.

Se calcula nuevamente en esta función el tamaño de la matriz de infinitos, y se ordena toda la matriz en función de la primera columna. Se elimina el punto de partida de dicha matriz, pues no tiene lógica calcular el coste de desplazarte hacia donde ya estás.

Se reordena la matriz pues no nos interesa tener una fila solo de ceros, por lo tanto, si hemos partido, por ejemplo, del nodo cuatro eliminaremos la fila cuatro y la fila cinco pasará a estar en la fila cuatro mediante transformaciones elementales de matrices y así sucesivamente.

La función *Alrededores* (ver Figura 8) tiene como entradas la matriz topológica de costes, la primera posición de la matriz de infinitos donde se está trabajando y la propia matriz de infinitos. Como se ha detallado anteriormente, la segunda columna hace referencia al coste de desplazamientos y será esta la variable entorno a la cual se reorganizará todo. Mediante un bucle for se irán añadiendo los puntos a los que se puede desplazar partiendo del origen y posteriormente se reorganizará la matriz en función de los costes recién calculados.

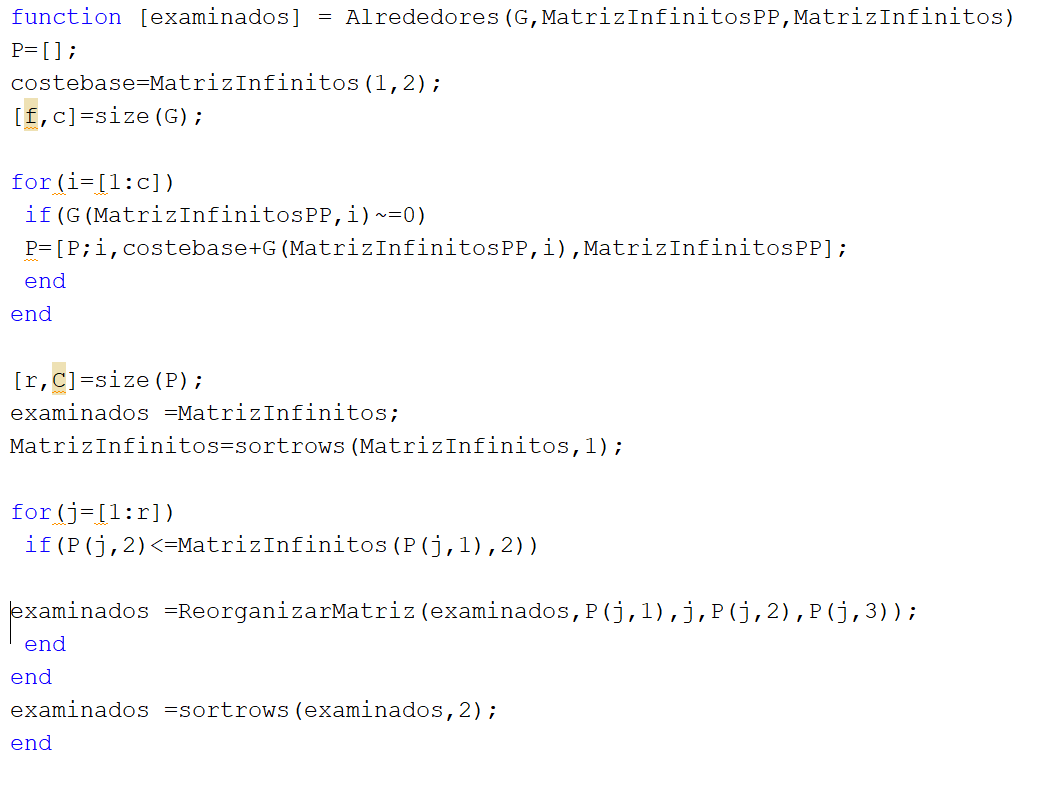


Figura 29: Función Alrededores.

La función *EliminarCamino* (ver Figura 9) tiene como entradas la matriz de infinitos y la ruta almacenada hasta el momento. El procedimiento a seguir es muy sencillo vamos a eliminar de la ruta seguida los puntos por los que ya ha pasado poniéndolos a valor infinito.

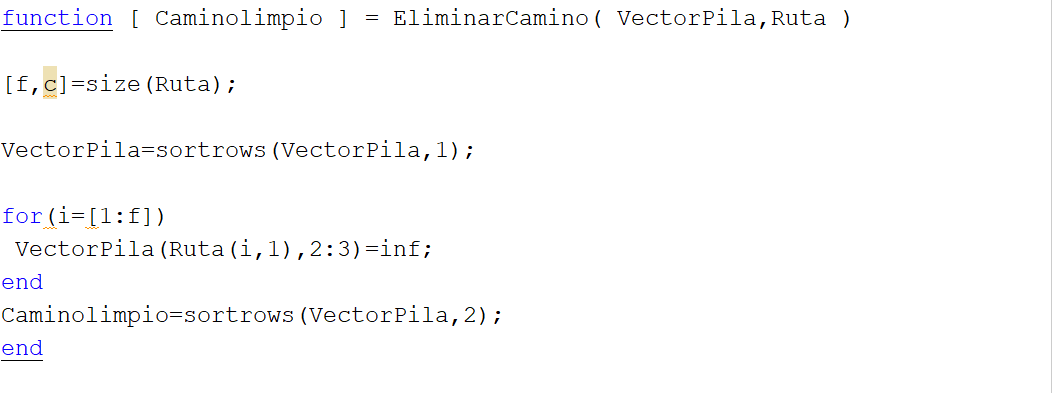


Figura 30: Función EliminarCamino.

Por último, la función OptimizarRuta (ver Figura 10) tiene como entradas la ruta seguida hasta el momento, el punto de origen y el destino, de formo que devolverá el menor coste entre dos puntos. Se hará chequeo entre el punto actual y el siguiente de manera secuencial.

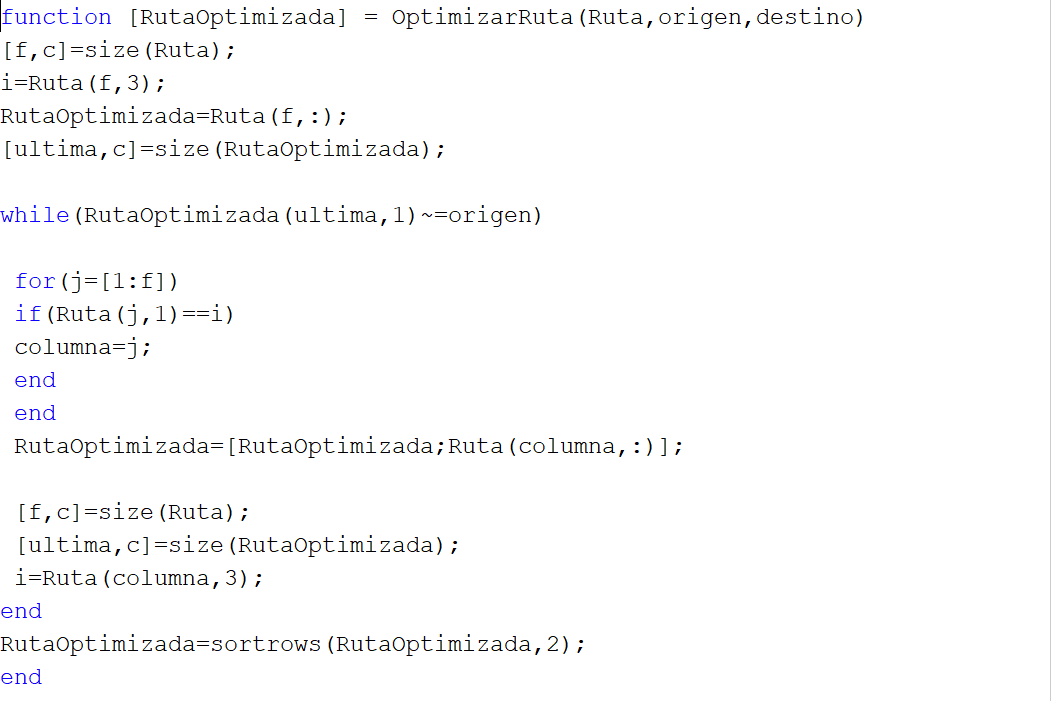


Figura 31: Función optimizar ruta.

Así pues, tal y como se muestra en la Figura 5, se inicializarán las variables ruta y camino. Antes de entrar a realizar cualquier operación se analizará previamente si hay algún nodo incompleto o inalcanzable. Mientras no estemos en un punto aislado y no hayamos llegado al destino, se irá completando los distintos posibles caminos haciendo uso de las funciones nombradas anteriormente. Una vez se tengan todos los posibles caminos, se optimizará la ruta y se obtendrá tanto el coste total como la ruta empleada.

Se confirma la robustez del sistema mediante una serie de comprobaciones donde se obtienen los resultados esperados (ver Figura 11).

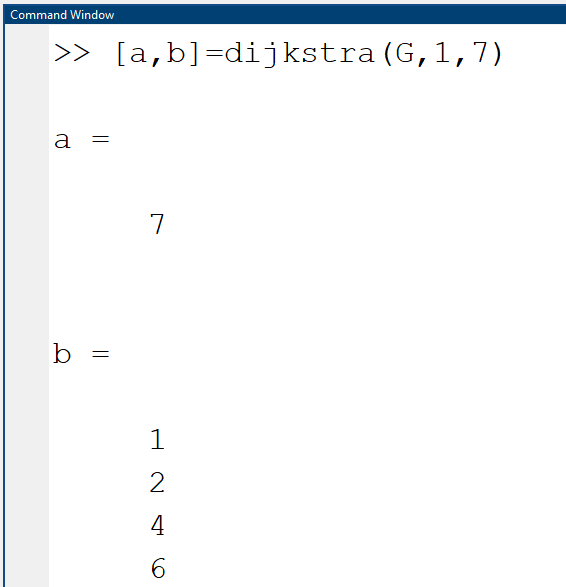


Figura 32: Resultados obtenidos partiendo del nodo 1 hacia el 7.

Se calculan los resultados (ver Figura 12, Figura 13 y Figura 14) para los siguientes nodos de partida y llegada:

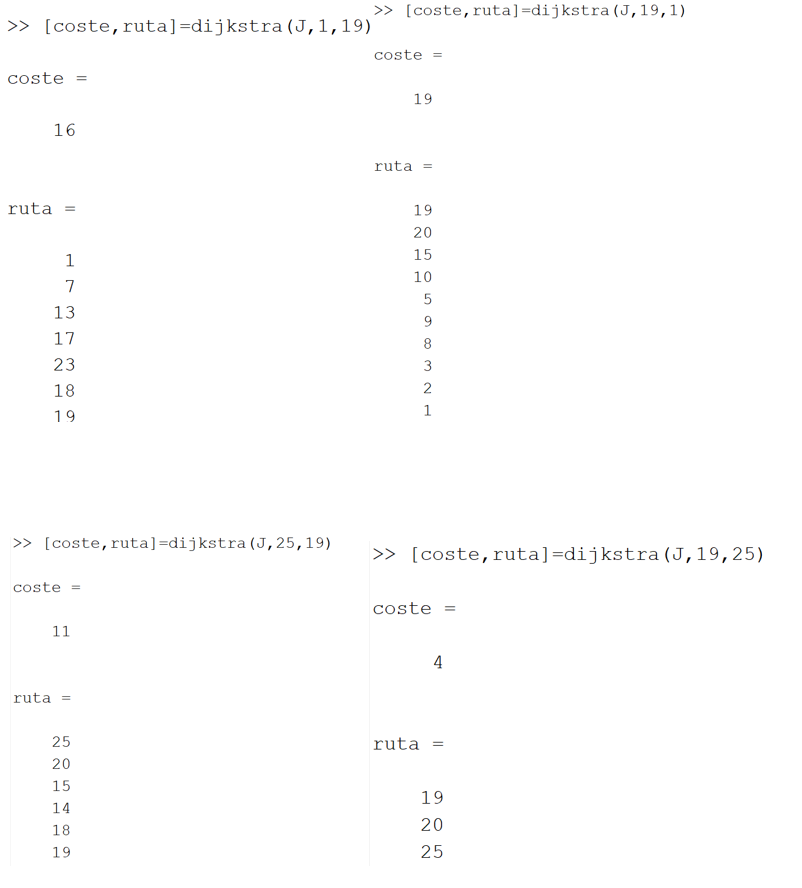


Figura 33: Resultados obtenidos (1).

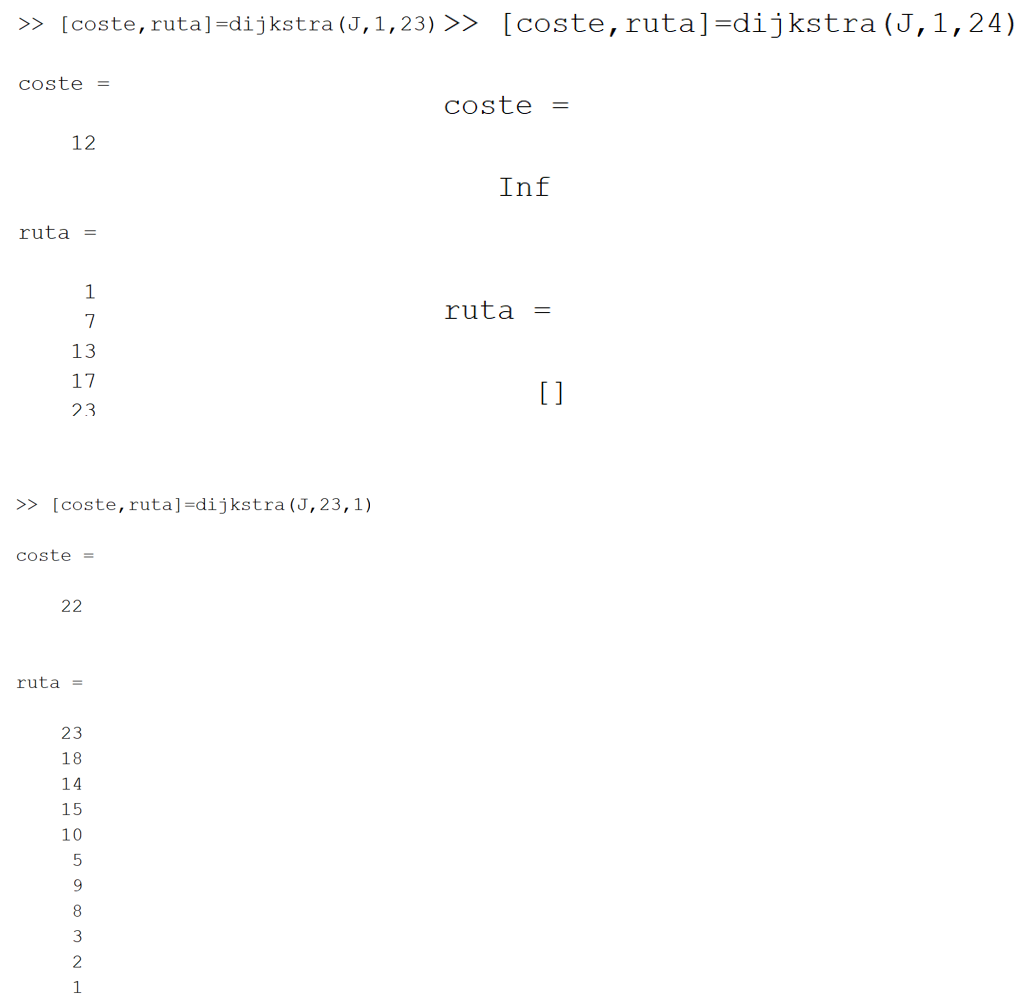


Figura 34: Resultados obtenidos (2).

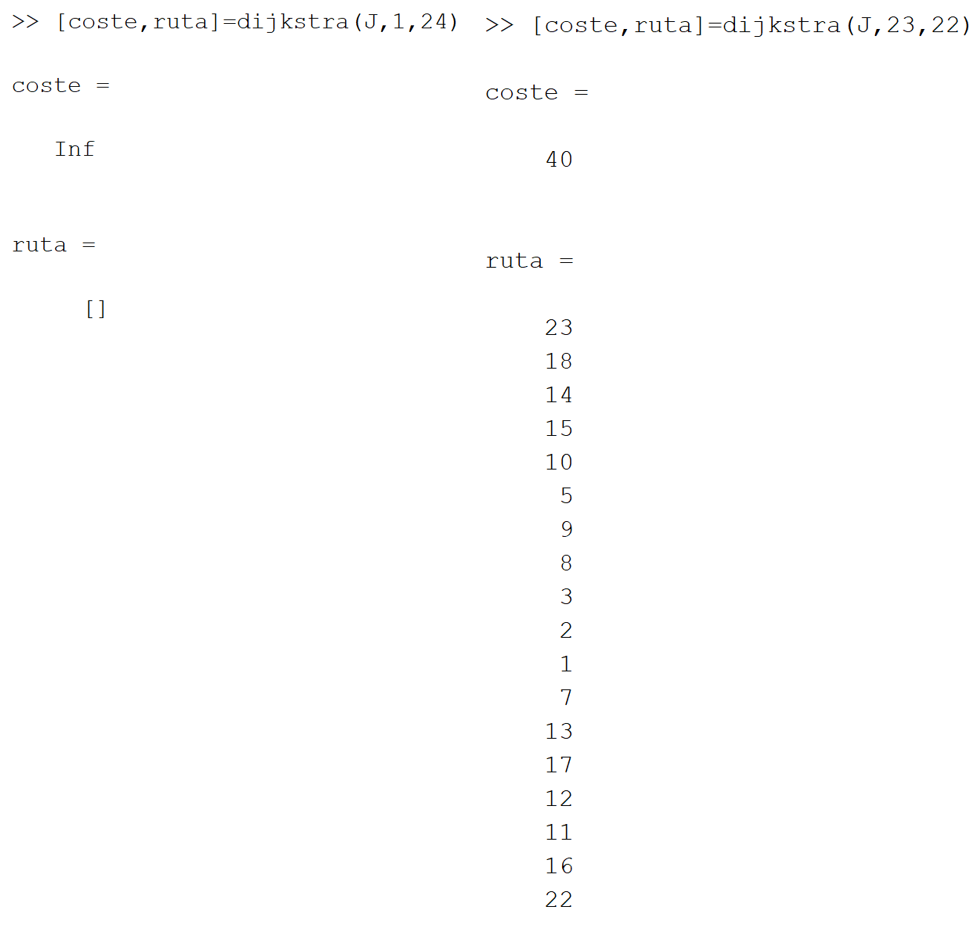


Figura 35: Resultados obtenidos (3).

Tal y como se puede observar en la Figura 14, dado que el nodo 24 no es alcanzable desde ningún otro nodo, el coste es infinito y no hay ruta mediante la cual se puede alcanzar dicho nodo. En cualquier otro caso, el sistema actúa correctamente según lo esperado.

# Práctica 5: Ampliación de caminos (A\*)

## Apartado 5.1

**Implementar el algoritmo A\* en Matlab mediante una función que devuelva el coste y la ruta óptima a partir de un origen y un destino**

A diferencia de la PRACTICA 4, este algoritmo de Dijkstra\* se basa en la optimización del cálculo computacional resultando en un algoritmo más eficiente.

Se va a utilizar la misma topología con la cual se ha trabajado anteriormente (ver Figura 3).

En primer lugar, se comprueba que el punto de partida y el destino no sean iguales. En dicho caso, el coste de llegar así mismo es nulo y la ruta será el punto propio.

Leemos el número de nodos que deben coincidir con el tamaño de la matriz topológica de costes, pues recordemos que estamos trabajando con una matriz simétrica.

Se procede a la implementación de una matriz donde cada columna tiene un propósito distinto. Se tendrá pues, una columna representando la posición del nodo, otra representando los costes de la matriz G, otra igual con H y en último lugar una representación de los nodos por los cuales se ha pasado ya.

Tal y como se ha realizado en la practica 4, en la primera columna se van a introducir los n nodos al igual que en la última. En la columna dos y tres, dado que representan costes se inicializan en infinito como hemos procedido anteriormente.

Se ordenarán en función de sus respectivos costes sabiendo que el coste inicial de partida, tanto para G como para H son nulos. Se ordenarán ambos costes para que el origen = 0 se sitúe en la primera fila.

Se genera un vector auxiliar vacío. Mientras no estemos en el punto de llegada, se va a almacenar los costes de todos los posibles puntos de llegada respecto al punto actual. Se almacena el coste real actual del punto. Así mismo, se almacena el coste heurístico de llegada al punto H.

Si cumple la condición de costes, el nodo actual pasará a la cuarta columna representando al nodo anterior, actualizando así la matriz.

Una vez actualizada la matriz en función del nodo, se actualiza también los costes tanto de G como de H en el nuevo punto, gracias a que cumplirá siempre la condición gracias a que se han inicializado a infinito, tal y como vimos en clase. Dado que la primera iteración ya está realizada, se almacenará la trayectoria en el vector auxiliar y se eliminará de la matriz de trabajo.

Se analizará por lo tanto los nuevos costes del nuevo punto entrando así en un procedimiento cíclico.

Se trabajará a continuación con los datos recopilados. En primer lugar, se desecharán aquellos puntos donde el coste total sea cero y se actualiza por lo tanto el nuevo tamaño de la matriz auxiliar. Se inserta en la posición uno el propio nodo de inicio conocido por ser un valor de entrada. Se hace lo mismo con el nodo destino. Por último, se termina de montar el resultado de la ruta desechando todos los ceros que nos encontramos en el camino.

Así pues, los resultados se verifican a continuación:

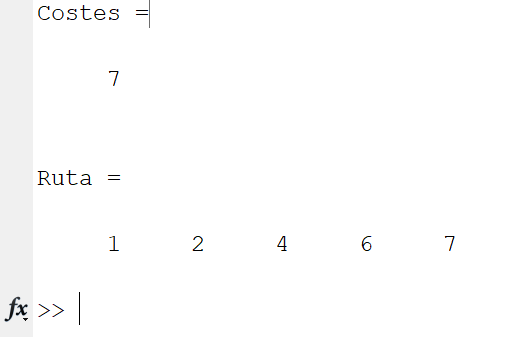


Figura 36: Resultados de Dijkstra\* con nudo de entrada 1 y llegada 7.

Se observa el resultado esperado, confirmando la correcta realización del ejercicio.

## Apartado 5.2

**Comprobar el resultado del algoritmo para los siguientes nodos inicial y final:**



Si se ejecuta la función Dijkstra implementada en el primer apartado (ver FOTO) se puede apreciar como el resultado no es el óptimo (ver Figura 16).

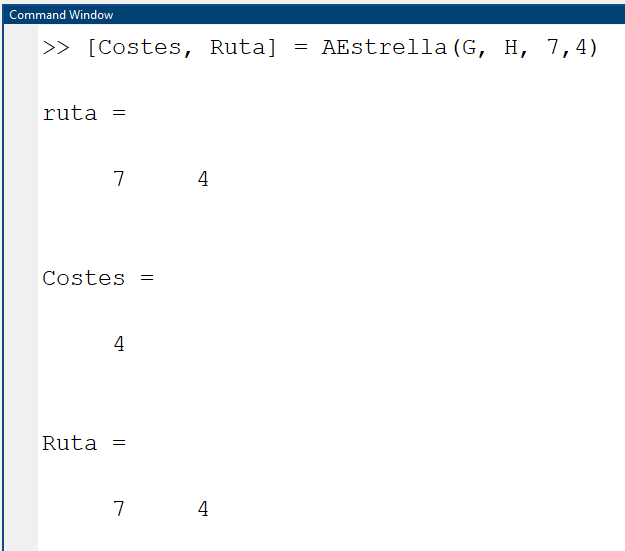


Figura 37: Resultado de Dijkstra\* con entrada 7 y destino 4.

Esto tiene un razonamiento lógico, pues este algoritmo se basa en ciertas estimaciones de la heurística para calcular el coste hacia el destino, pero en este caso hay muy poca distancia entre el inicio y la llegada por lo tanto la estimación no es totalmente precisa como si era en el apartado uno, llegando pues a la conclusión de que este algoritmo será más eficiente en trayectorias de cierta longitud.

## Apartado 5.3

**Proponga una heurística admisible para que el resultado anterior si se corresponda al camino óptimo entre ambos nodos.**

Para dar una solución de continuidad a esta problemática, se propone implementar el código de Dijkstra proporcionado en la práctica 4 para mejorar la matriz heurística entre dos puntos dados. Así pues, a razón de una mayor carga computacional se logra un camino adecuado garantizado, mayor que el de Dijkstra\* de la práctica 5, pero menor que el de Dijkstra planteado en la práctica 4, logrando así un término medio entre los dos algoritmos.

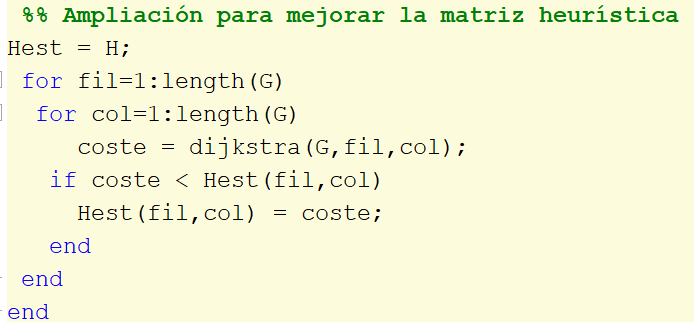
El código planteado es el que se observa en la Figura 17, donde como ya se ha dicho, se calculará la matriz heurística mediante el algoritmo de Dijkstra y se confirmará que es el adecuado (ver Figura 17) 

Figura 38: Corrección de código planteado.

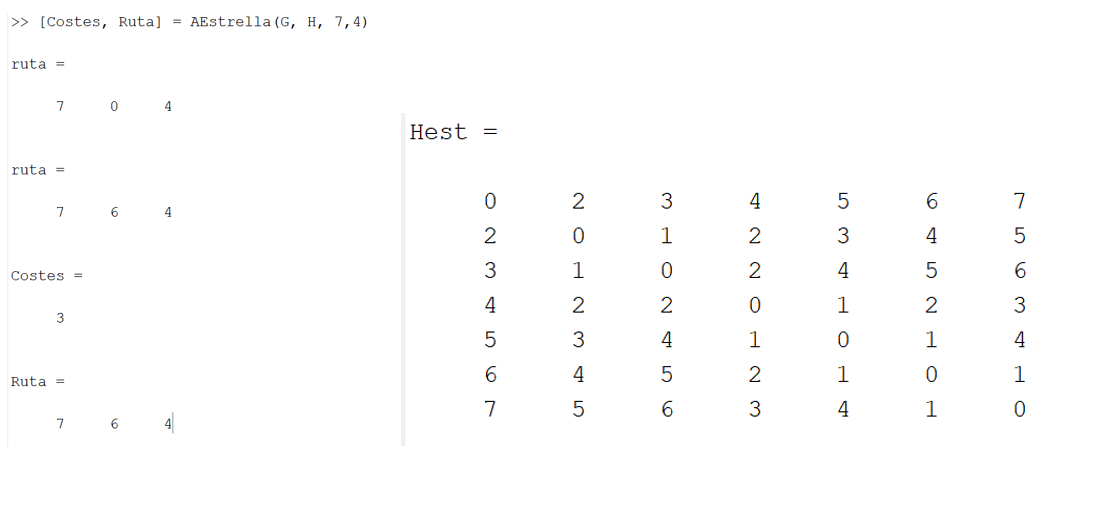


Figura 39:Problema solventado y matriz heurística corregida.

# Práctica 6: Navegación Autónoma

## Apartado 6.1

El objetivo principal de esta práctica es implementar tanto la planificación global de caminos, ya sea Dijkstra como Dijkstra\* con el método de campos potenciales visto en la práctica número tres.

**Implementar un programa de Matlab que utilice la planificación de caminos de Dijkstra (práctica 4) y evite obstáculos con el método de campos potenciales (práctica 3). El programa debe preguntar los nodos de inicio y destino, y representar gráficamente el mapa con la trayectoria del robot. Debe indicar con un mensaje si se ha podido llegar al destino.**

En primer lugar, se va a leer y dibujar cada uno de los nodos que se nos proporciona. Para ello haremos uso del código mostrado en la Figura 19. Véase que se ha puesto un condicionante que, si estamos ante el nodo 10 en adelante, desplazamos el dibujo un poco para poder centrarlo.

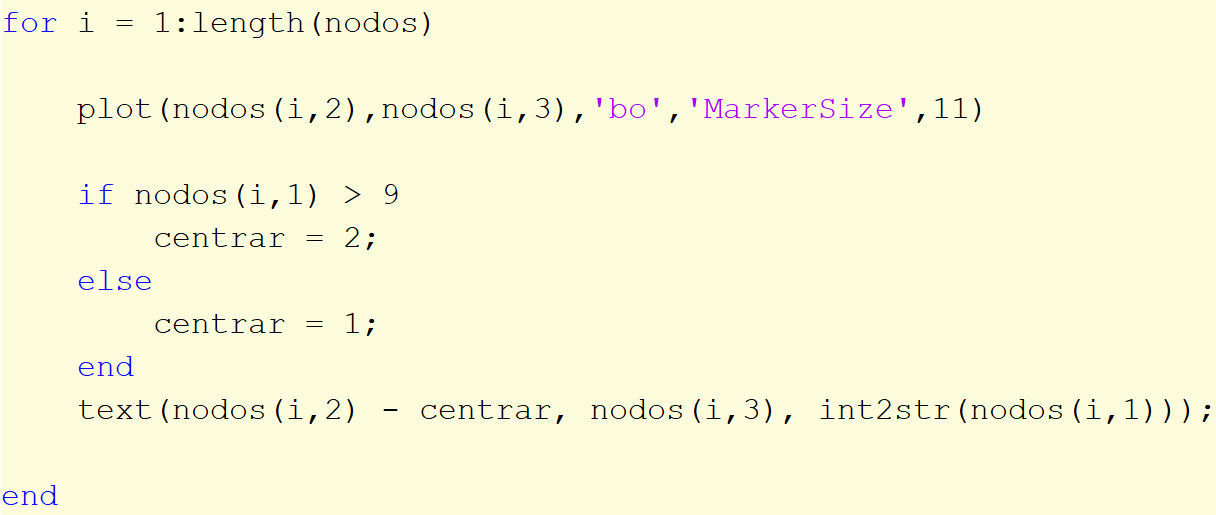


Figura 40: Código para dibujar los nodos

Una vez está dibujado, se procede a los cálculos correspondientes. Se calcula el camino más óptimo mediante la función Dijkstra, realizada anteriormente (ver Figura 20).

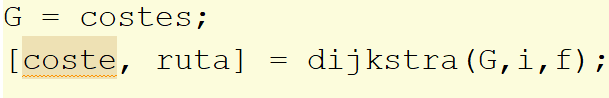


Figura 41: Llamada a la función Dijkstra.

Dado que el camino a seguir ya es conocido, se va a implementar un bucle for que vaya desde un nodo A hacia un nodo B y posteriormente de B hacia C, siendo A,B,C… los nodos indicados en la ruta mediante Dijkstra. Esto se representa en la

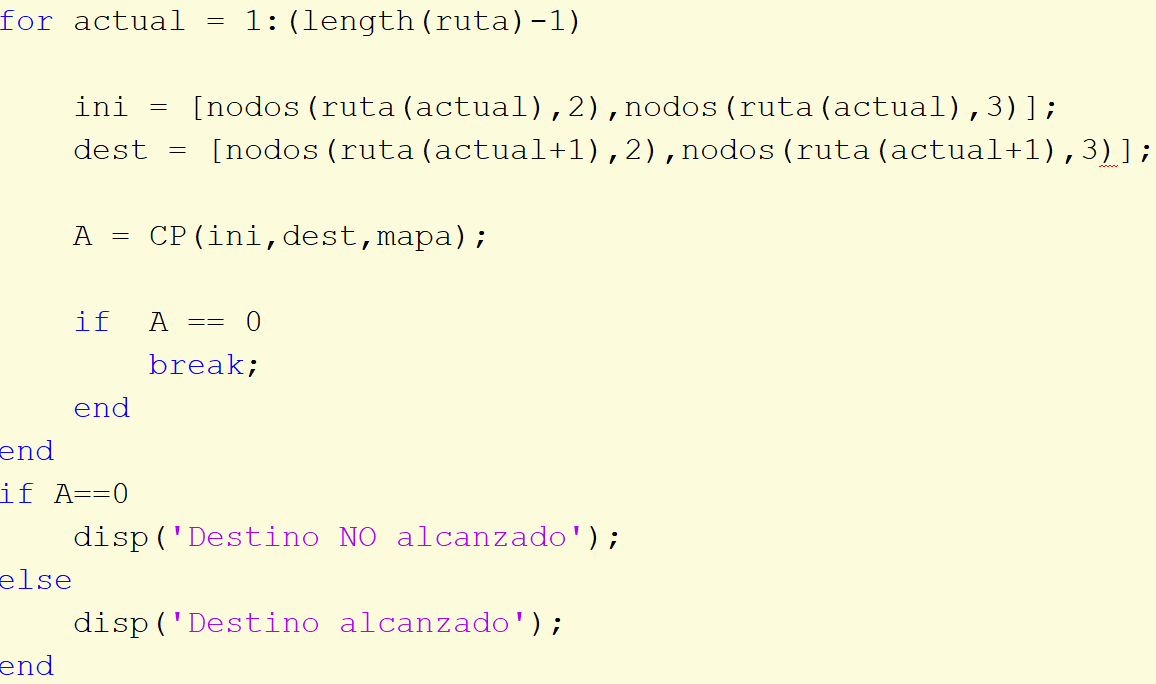


Figura 42: Campos potenciales en bucle.

Obsérvese como también se implementa un mensaje en caso de error, tal y como se solicita en las indicaciones.

Así pues, al ejecutar el código nos encontramos con un resultado satisfactorio (ver Figura 22 ).

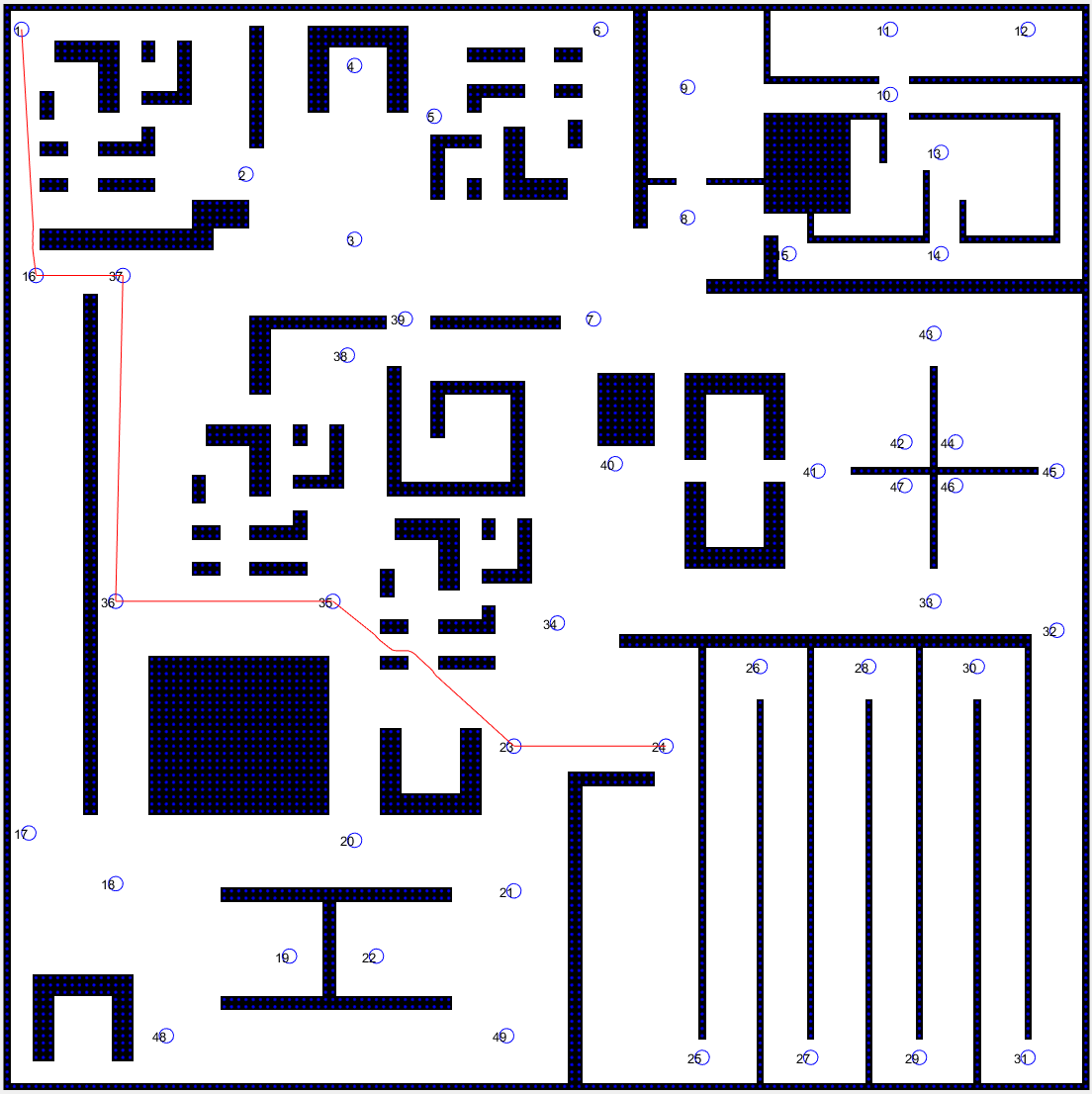


Figura 43: Resultado obtenido en el apartado 1.

## Apartado 6.2

**Realizar la trayectoria partiendo del nodo 1 hacia un destino en la parte derecha superior del mapa. Intentar atravesar la parte inferior derecha del mapa entre los nodos 24 y 32. ¿Es posible alcanzar el objetivo en esas situaciones?, ¿a qué se debe el problema para completar dichos caminos? Proponer una mejora a la navegación autónoma implementada para resolver esta situación.**

Se introduce como nodo de partida el nodo 1 y como destino el nodo 31 y se observa el siguiente resultado (ver Figura 23).

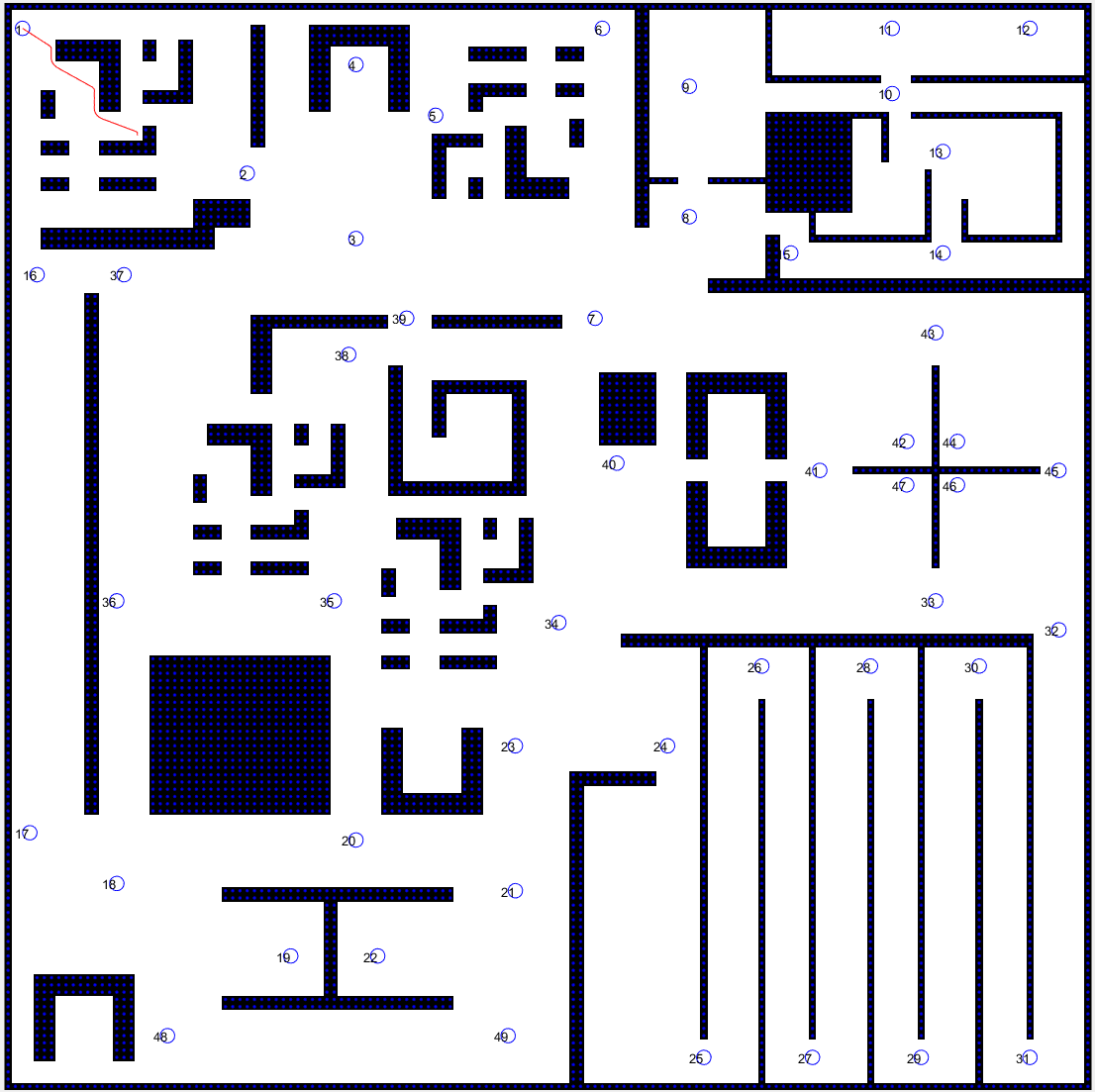


Figura 44: Resultado fallido con nodo de entrada 1 y nodo de salida 31.

Vemos que no llega al destino. Como ya se vio en la práctica 3 esto es debido a que el sistema ha entrado en una trampa local, impidiendo el desplazamiento como ya se indicó anteriormente.

Si se introdujeran más nodos alrededor de los puntos débiles del sistema se podría solucionar este problema, tal y como se ha hecho, por ejemplo, en la cruz de la derecha, involucrando a los nodos 33, 41, 42, 43, 44, 45, 46 y 47. Así pues, en lugar de ir del nodo 47 al 42, por ejemplo, pasaría por el nodo intermedio 41.

## Apartado 6.3

**Si se desea utilizar el algoritmo A\* para realizar una planificación de caminos más eficiente desde el punto de vista computacional, es necesario definir una heurística. Se propone definir una heurística consistente y reemplazar el algoritmo de Dijkstra por el A\* para la planificación de caminos.**

Se muestra la para construir la matriz heurística. Tal y como se observa, tiene como entrada los nodos proporcionados en el enunciado y la matriz de adyacencia.

Se calculará posteriormente la distancia euclídea entre cada uno de los nodos y se almacenarán los resultados en forma de matriz.

Siempre y cuando haya adyacencia entre dos nodos, se le asignarán la distancia euclídea a la variable de costes.

Así pues, se observan los resultados tras calcular la nueva matriz de costes y emplear el algoritmo de Dijkstra\* (ver Figura 24).

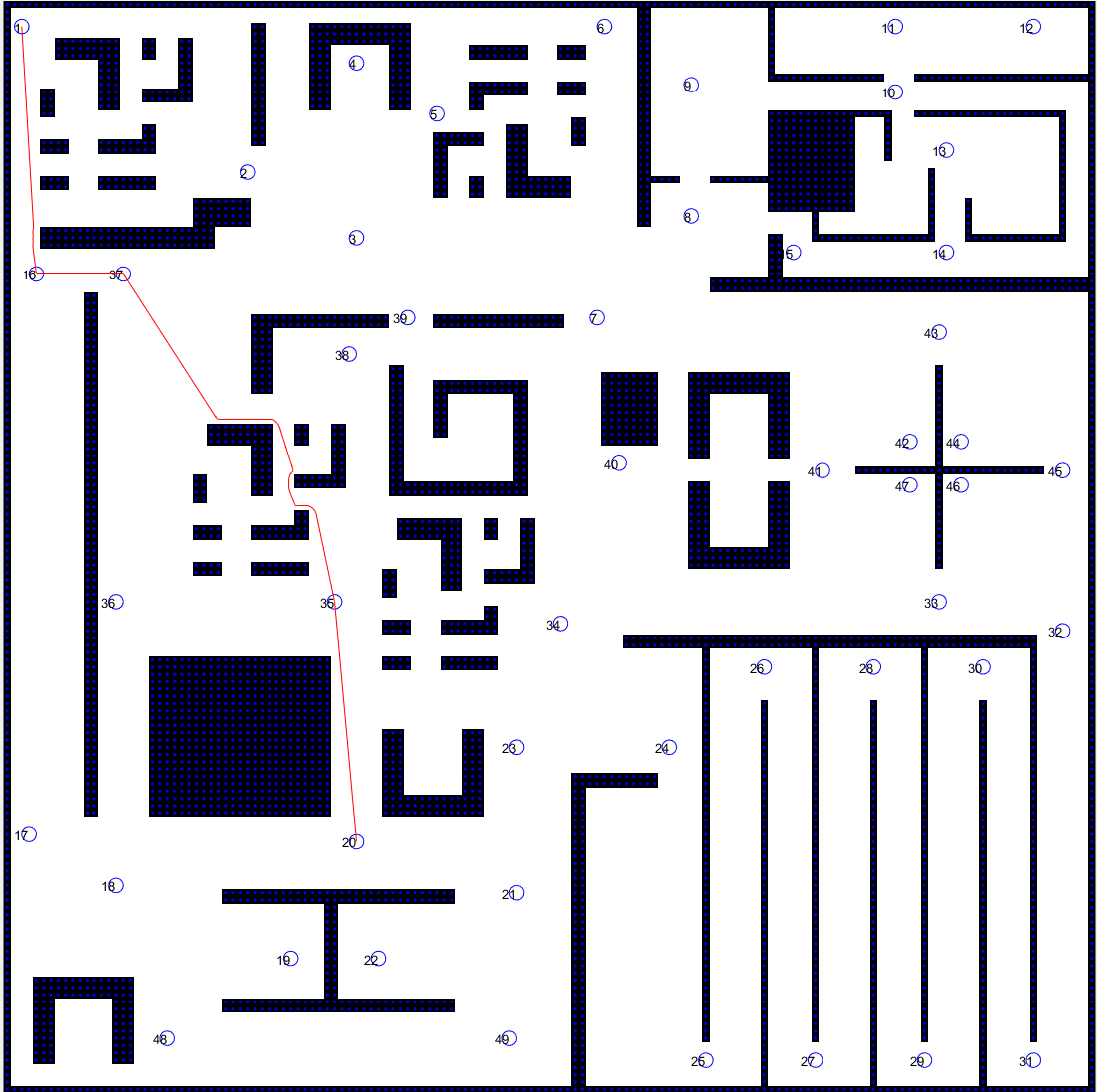


Figura 45: Resultado tras la ejecución del código del apartado 3.