

**TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE LAS CURVAS DE DUBINS BASADAS EN RRT*
UTILIZANDO UNA IMAGEN AÉREA PARA LA DETERMINACIÓN DE
OBSTÁCULOS Y UN TRAZADO DE RUTA QUE PERMITA EVITARLOS
DURANTE EL DESPLAZAMIENTO DE UN ROBOT MOVIL.**

AUTORES:

CANCHIGNIA CADENA, CHRISTIAN SANTIAGO
TENEZACA BEJARANO, HECTOR DANIEL

DIRECTOR:

ING. DARÍO MENDOZA



CONTENIDO

Resumen

Justificación e Importancia

Procesamiento de Imágenes

Generalidades

Diseño

Pruebas y Resultados

Conclusiones y Recomendaciones



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

RESUMEN

La aplicación de robots móviles de navegación autónoma ha contribuido al desarrollo de tareas de exploración para el reconocimiento de ambientes desconocidos. Existen diferentes metodologías para la evasión de obstáculos implementados en robots móviles, sin embargo esta investigación presenta un enfoque novedoso para el trazado de ruta de un Vehículo Terrestre no Tripulado (UGV) utilizando la cámara de un drone para obtener una imagen aérea que permita reconocer las características terrestres por medio de algoritmos de procesamiento de imagen para detectar obstáculos y localizarlos en un ambiente determinado. Después del reconocimiento aéreo un planificador global con Exploración Rápida de Árboles Randómicos (RRT*) es ejecutado, las curvas de Dubins son el método usado para este caso de robots no holonómicos. El estudio también se enfoca en la determinación del tiempo de computo el cual es afectado por el crecimiento del número de iteraciones en el RRT*, el valor del step size entre los nodos del árbol y finalmente el impacto del número de obstáculos ubicados dentro del ambiente. El proyecto es la parte inicial de una investigación mucho mas grande acerca de un sistema robótico colaborativo aéreo-terrestre.



JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Método tradicional

- Teleoperación robótica



**MANEJO DE ROBOTS POR
MEDIO DE UN OPERARIO**

- Exploración humana



**RECONOCIMIENTO
REALIZADO POR UN HUMANO**

Método innovador

- Robótica Colaborativa

**BRINDA MEJORES
RESULTADOS**



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema robótico colaborativo aéreo-terrestre que permita la localización de objetos definidos mediante el trazado de rutas en un ambiente estructurado.



OBJETIVOS

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar el estado del arte correspondiente al uso de ROS en sistemas colaborativos entre una plataforma terrestre y una plataforma aérea.
- Desarrollar los algoritmos necesarios para el procesamiento de imagen obtenida del UAV de tal manera que pueda diferenciar los obstáculos que componen el entorno estructurado.
- Implementar el algoritmo para el trazado de rutas utilizando la imagen obtenida por la cámara del UAV.
- Detectar la presencia de los objetos definidos dentro del ambiente estructurado y mediante el algoritmo de path-planning generar la ruta de desplazamiento del UGV.



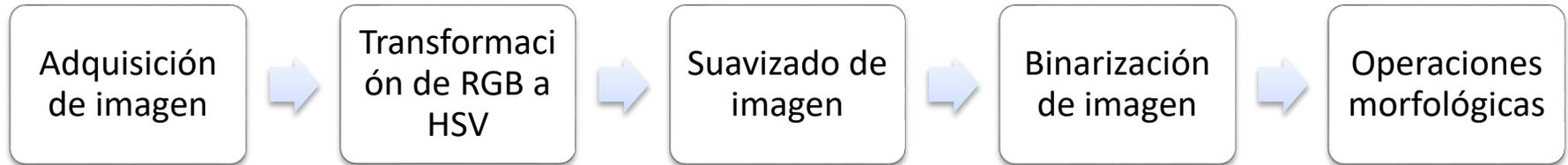
DISEÑO: Ambiente estructurado

- Campo de visión permite establecer dimensiones del ambiente estructurado en 6x4 m² a una altura de 4m.



DISEÑO: Procesamiento de imagen

- La detección de obstáculos se lo realiza con la cámara integrada del UAV Bebop 2 Drone desarrollado por Parrot. Los algoritmos fueron desarrollados bajo las librerías de OpenCV.

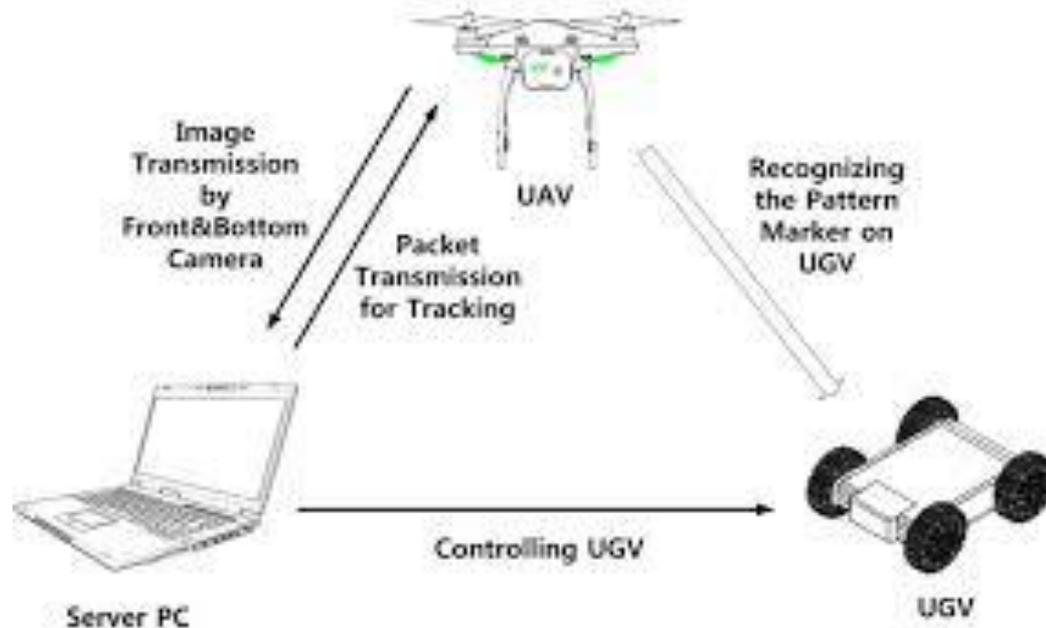


- Su objetivo es diferenciar los obstáculos de los demás objetos pertenecientes al entorno.



Captura de imagen

- Fue necesaria la utilización de un paquete de desarrolladores provista por el Sistema Operativo de Robots (ROS), de tal manera que se permita varia la rotación de la cámara del UAV hacia una posición que apunte al suelo de forma vertical.



Transformación de RGB a HSV

- El espacio de color de Tono, Saturación y Valor (HSV) es más relevante para discriminar los colores, independientemente de la cantidad de luz en la escena.

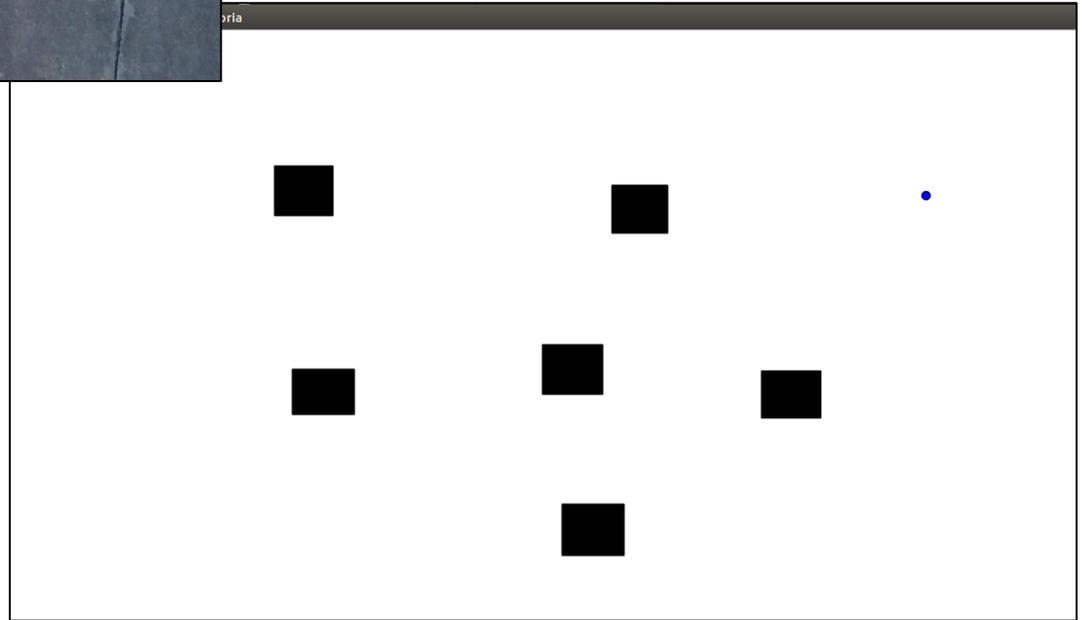
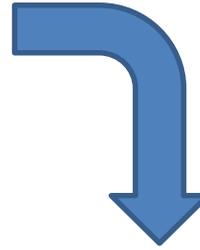
Binarización de imagen

- Los obstáculos se consideraron el elemento más destacado en el suelo, por lo tanto, establecer un mapa binarizado donde los obstáculos tienen un valor de píxel de 0 y un valor de píxel de 1 es un espacio libre.

Operaciones Morfológicas

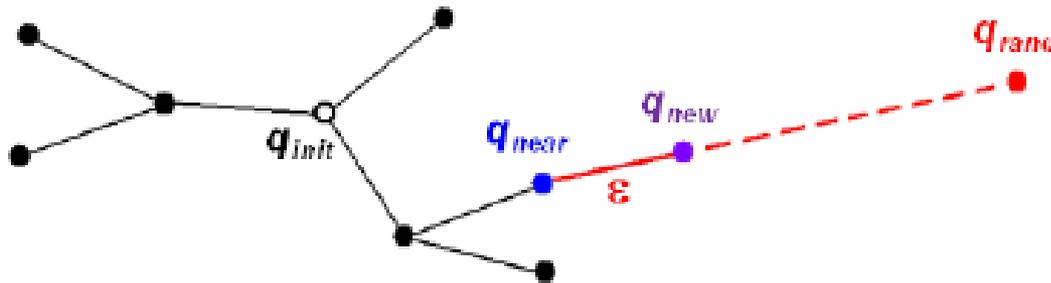
- La dilatación y la erosión combinadas dan como resultado un mejor filtro. Rellena los agujeros (apertura) y elimina los objetos pequeños (cierre).





Algoritmo RRT*

- LaValle propuso el algoritmo RRT. Este algoritmo permite la creación de una configuración de ramificaciones que se expanden de forma totalmente aleatoria por un espacio libre desde un punto de partida hasta encontrar su objetivo.



q_{init} = es el punto de partida del árbol

q_{rand} = configuración aleatoria generada por el algoritmo

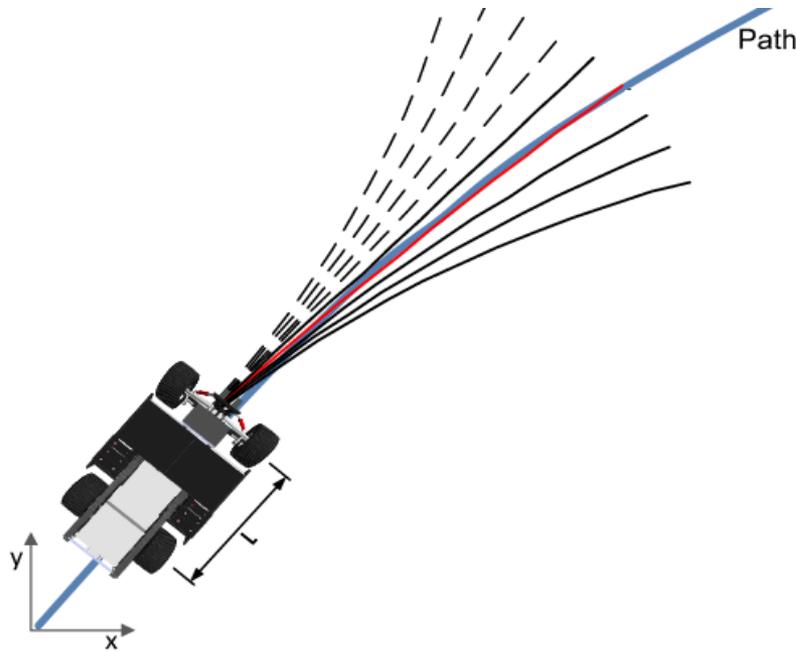
q_{near} = resulta la configuración mas cercana a q_{rand}

q_{new} = es la nueva configuración que se agrega al árbol



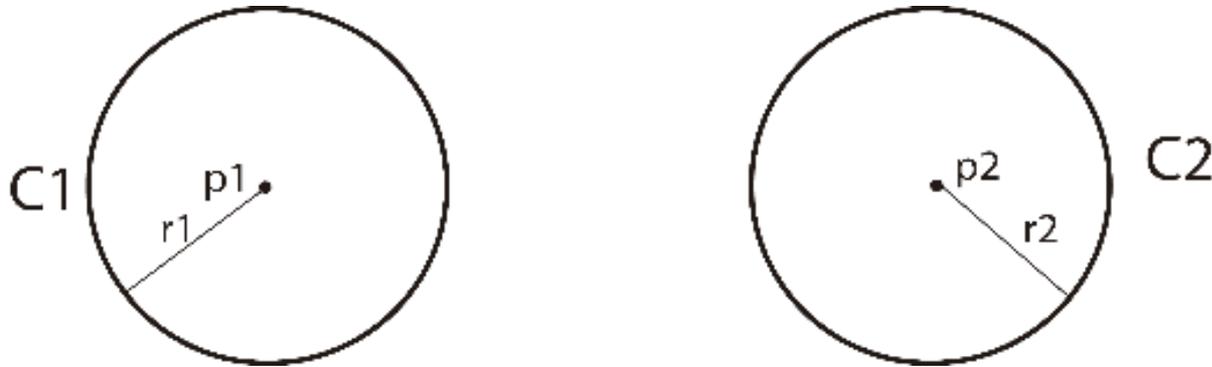
Curvas de Dubins

- Las curvas de Dubin describen seis tipos de trayectorias: RSR, LSR, RSL, LSL, RLR y LRL. Cada configuración proviene de una analogía que se denota por R (movimiento a la derecha), S (movimiento recto) y L (movimiento a la izquierda)

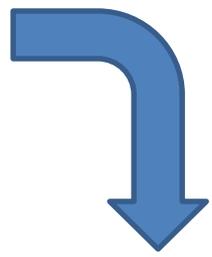
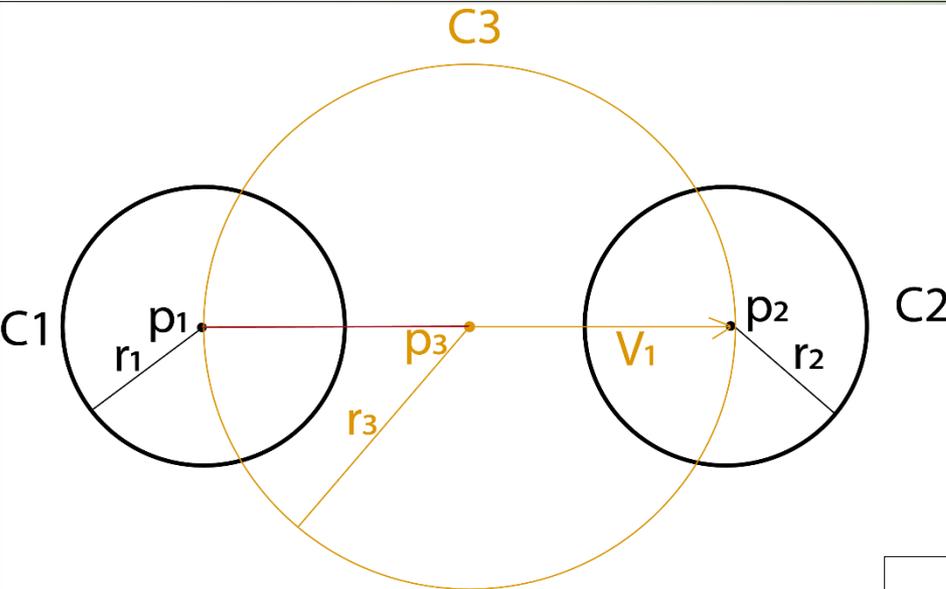


DISEÑO: Planificador de Ruta

- Todas estas configuraciones utilizan un método de cálculo geométrico basado en la construcción de líneas tangentes entre dos círculos. El primer paso se basa en tener dos círculos C_1 y C_2 , con sus respectivos radios r_1 y r_2 , donde (x_1, y_1) son los puntos centro de C_1 mientras que (x_2, y_2) son los puntos centro de C_2



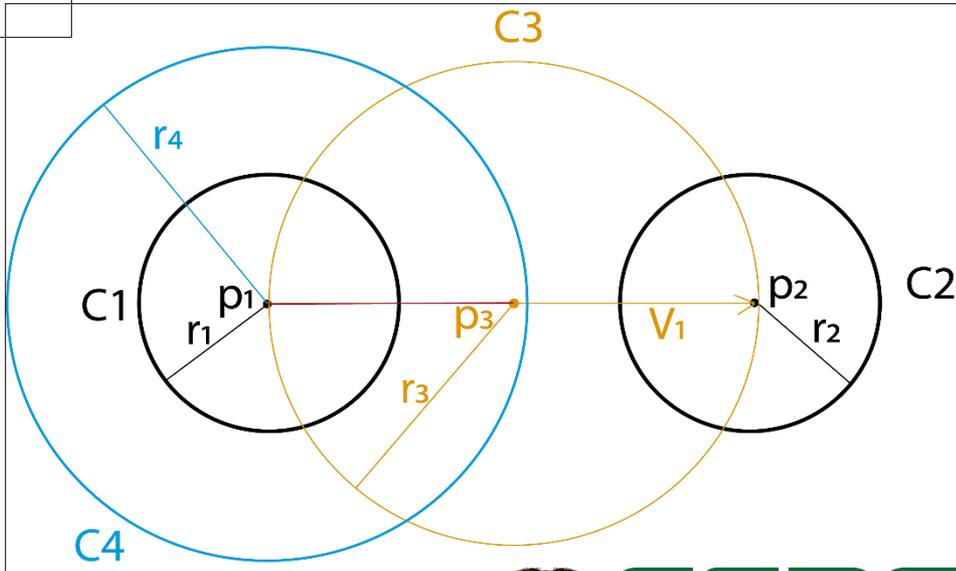
DISEÑO: Planificador de Ruta



$$D = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

$$p_3 = \left(\frac{x_1 + x_2}{2}, \frac{y_1 + y_2}{2} \right)$$

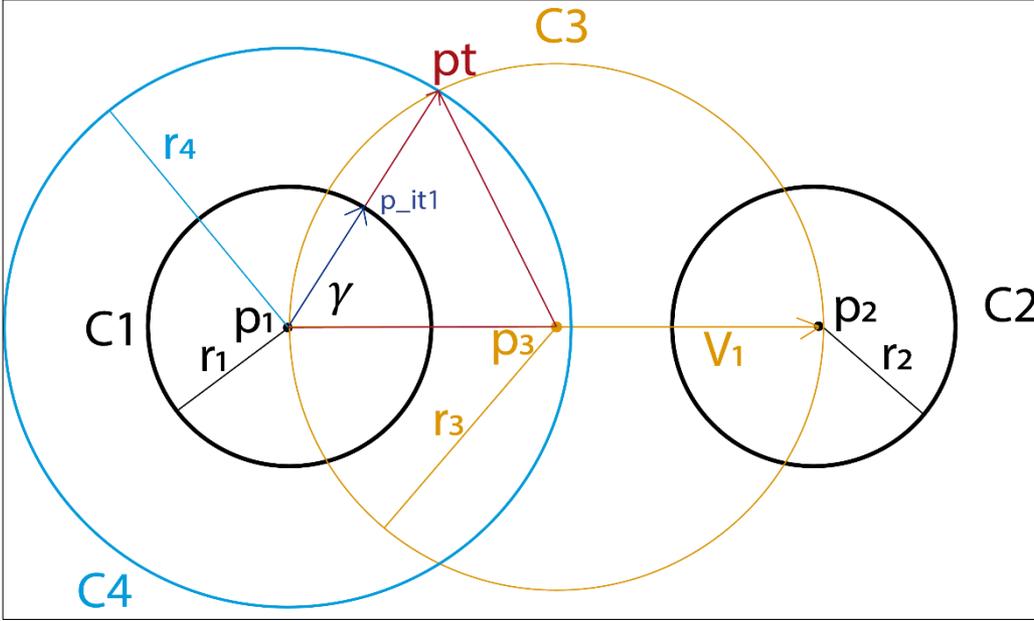
$$r_3 = \frac{D}{2}$$



ESPE
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO: Planificador de Ruta

- El siguiente paso consiste en dibujar un círculo C_4 localizada en el centro de C_1 con radio $r_4 = r_1 + r_2$, obteniendo p_t , lo cual representa la intersección entre C_3 y C_4 .



$$\theta = \gamma + \text{atan2}(\vec{V}_1)$$

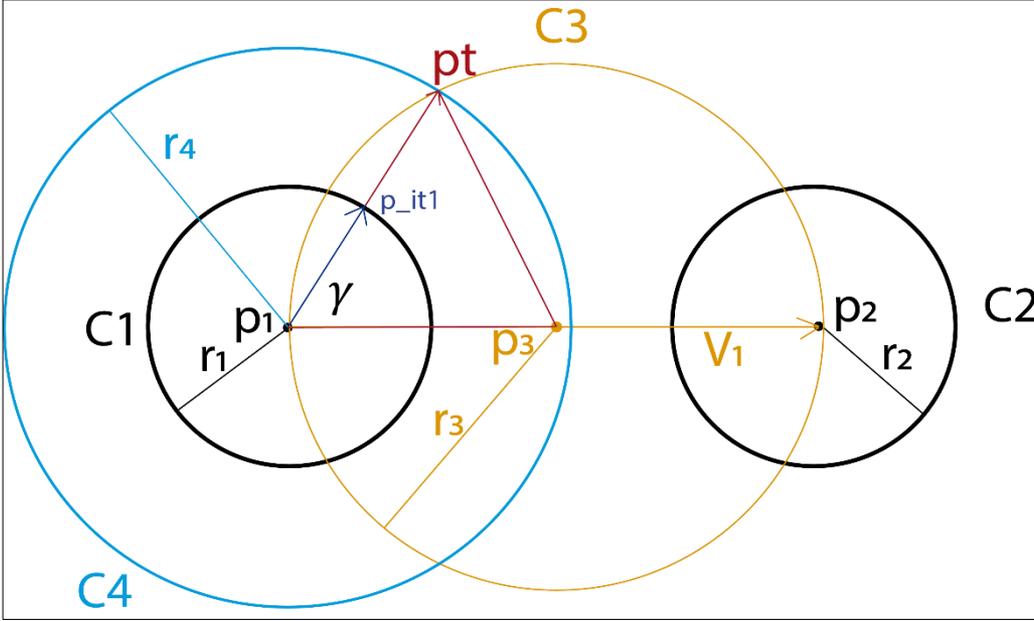
$$x_t = x_1 + (r_1 + r_2) * \cos(\theta)$$

$$y_t = y_1 + (r_1 + r_2) * \sin(\theta)$$



DISEÑO: Planificador de Ruta

- Considerando que la tangente interna comienza en C_1 , es necesario normalizar el vector $\vec{V}_2 = (p_t - p_1)$, y multiplicarlo por r_1 .



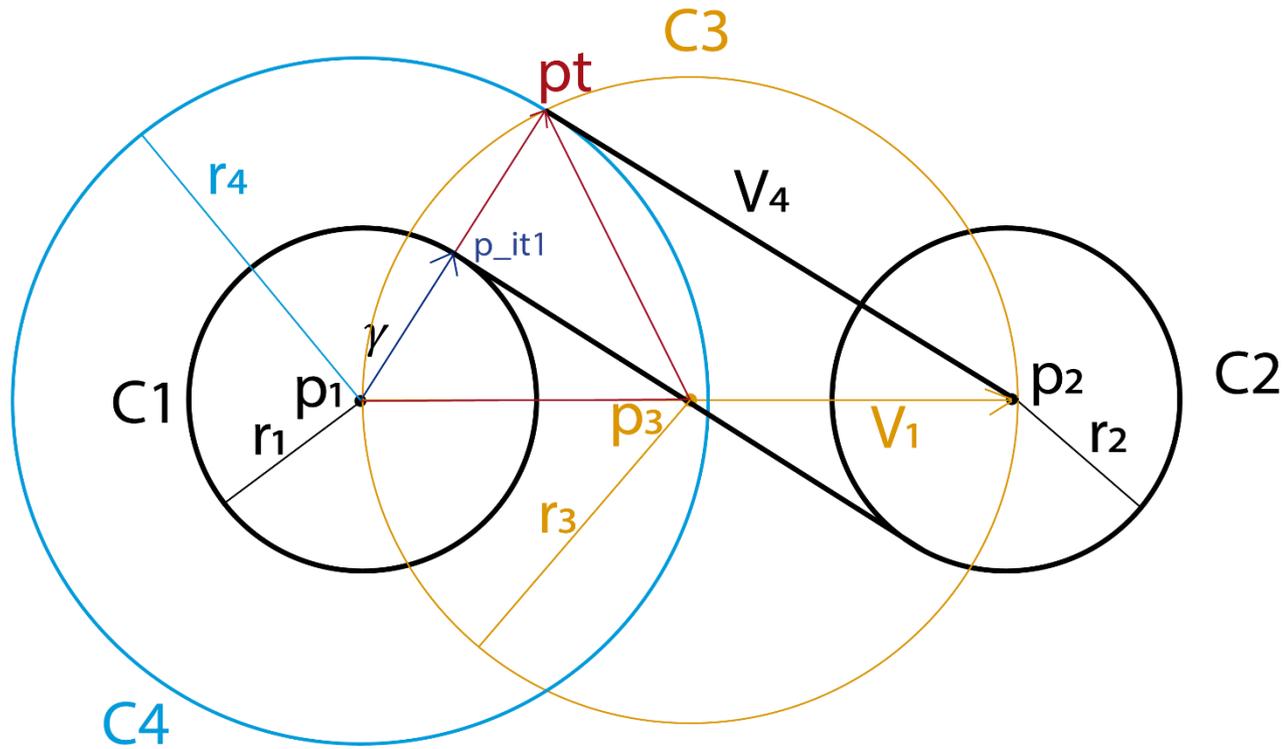
$$\vec{V}_3 = \frac{\vec{V}_2}{\|\vec{V}_2\|} * r_1$$

$$p_{it1} = p_1 + \vec{V}_3$$



DISEÑO: Planificador de Ruta

- Finalmente, es posible dibujar un vector \vec{V}_4 desde p_t a p_2 . Usando la magnitud y dirección de \vec{V}_4 se vuelve posible encontrar el punto de la tangente interna a C_2 .



$$\vec{V}_4 = (p_2 - p_t)$$

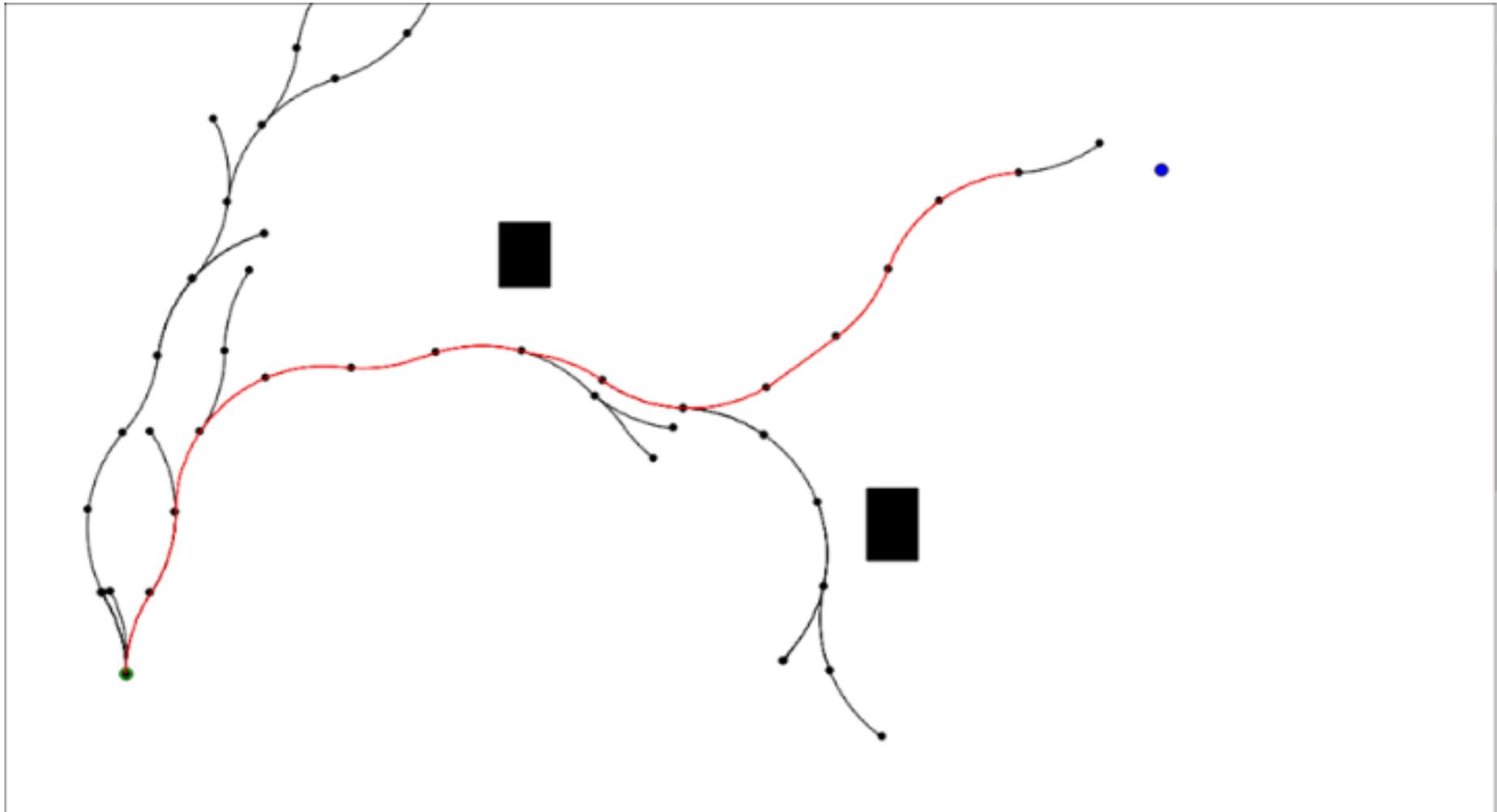
$$p_{it2} = p_{it1} + \vec{V}_4$$



- El proceso es muy similar al de las tangentes internas, tiene dos círculos C_1 y C_2 , y considerando $r_1 \geq r_2$, el procedimiento es el mismo que antes, C_4 está centrado en p_1 , con una diferencia el radio $r_4 = r_1 - r_2$, después de obtener p_t y seguir todos los pasos realizados para las tangentes interiores, se obtiene \vec{V}_2 and y el primer punto de tangente externo p_{ot1} . Esta condición produce que $r_4 < r_1$. Para obtener la segunda tangente externa p_{ot2} se realiza una adición mediante:

$$p_{ot2} = p_{ot1} + \vec{V}_4$$



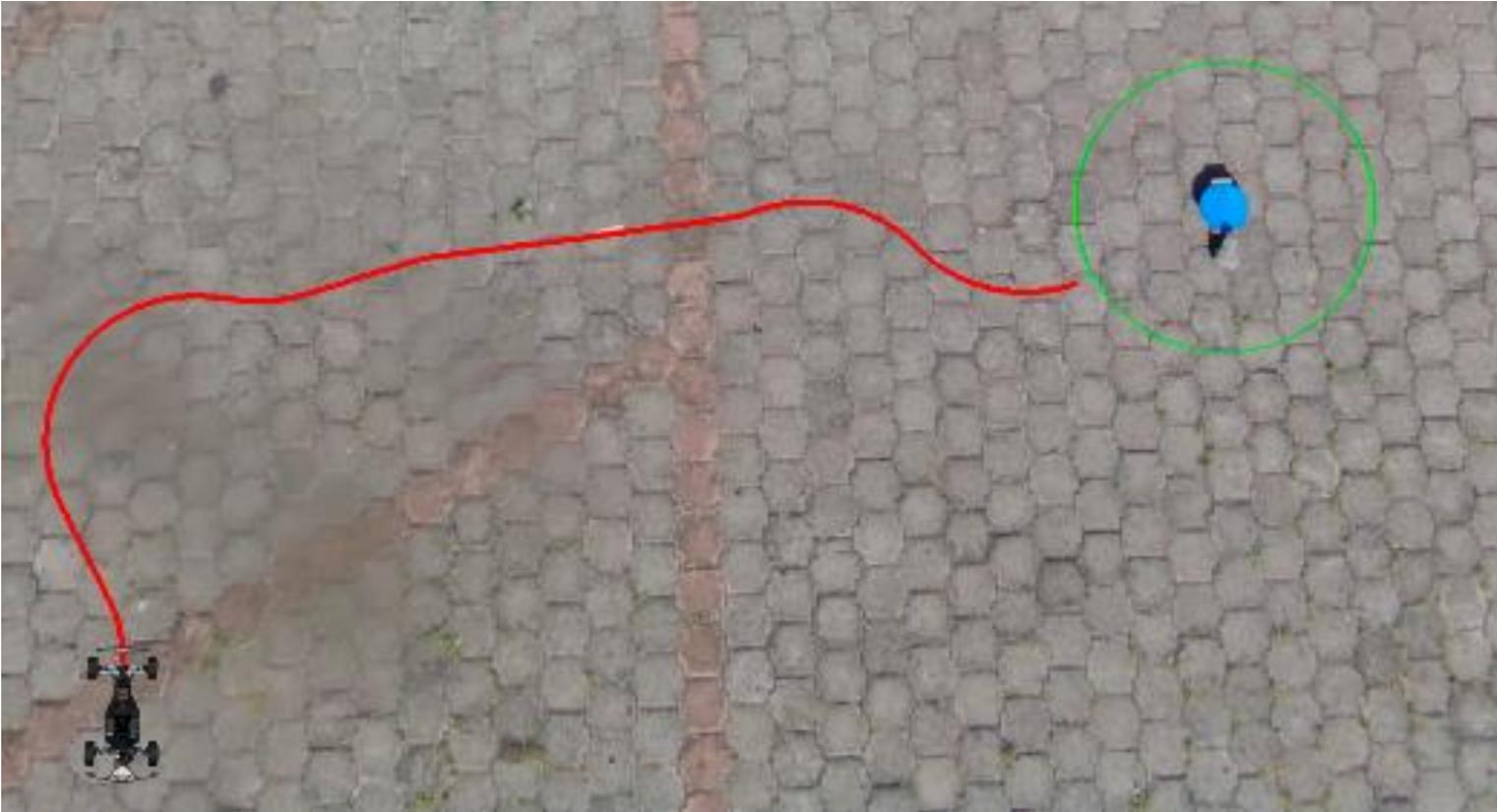


RESULTADOS:

- Los resultados experimentales producidos por la planificación de rutas RRT * basadas en curvas de Dubin se realizaron utilizando una CPU con un procesador i7 de tercera generación y una memoria RAM de 16 Gb. Para la prueba de algoritmos, se eligió una escena con una cantidad necesaria de luz para obtener la segmentación correcta del objeto. Desde este punto, la prueba comenzó sin obstáculos en la escena. Luego, gradualmente se agregaron obstáculos para establecer cuatro configuraciones diferentes, de tal manera, se probaron la funcionalidad y la eficiencia del algoritmo.
- El algoritmo se probó en 5 casos diferentes (ver Fig. 5), sin obstáculos (primer caso), un obstáculo (segundo caso), dos obstáculos (tercer caso), tres obstáculos (cuarto caso) y cuatro obstáculos (quinto caso) .



RESULTADOS:

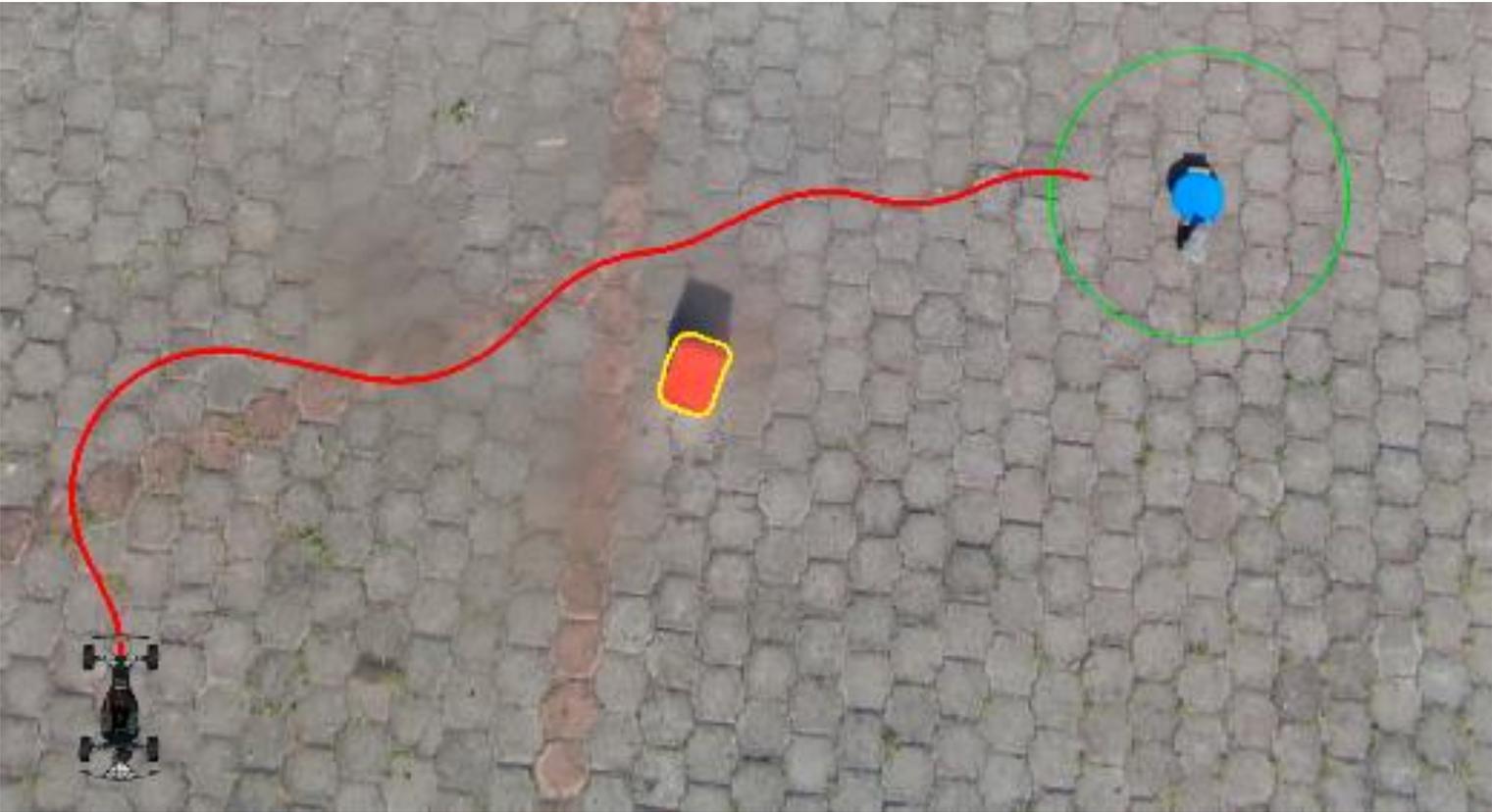


(a)



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

RESULTADOS:

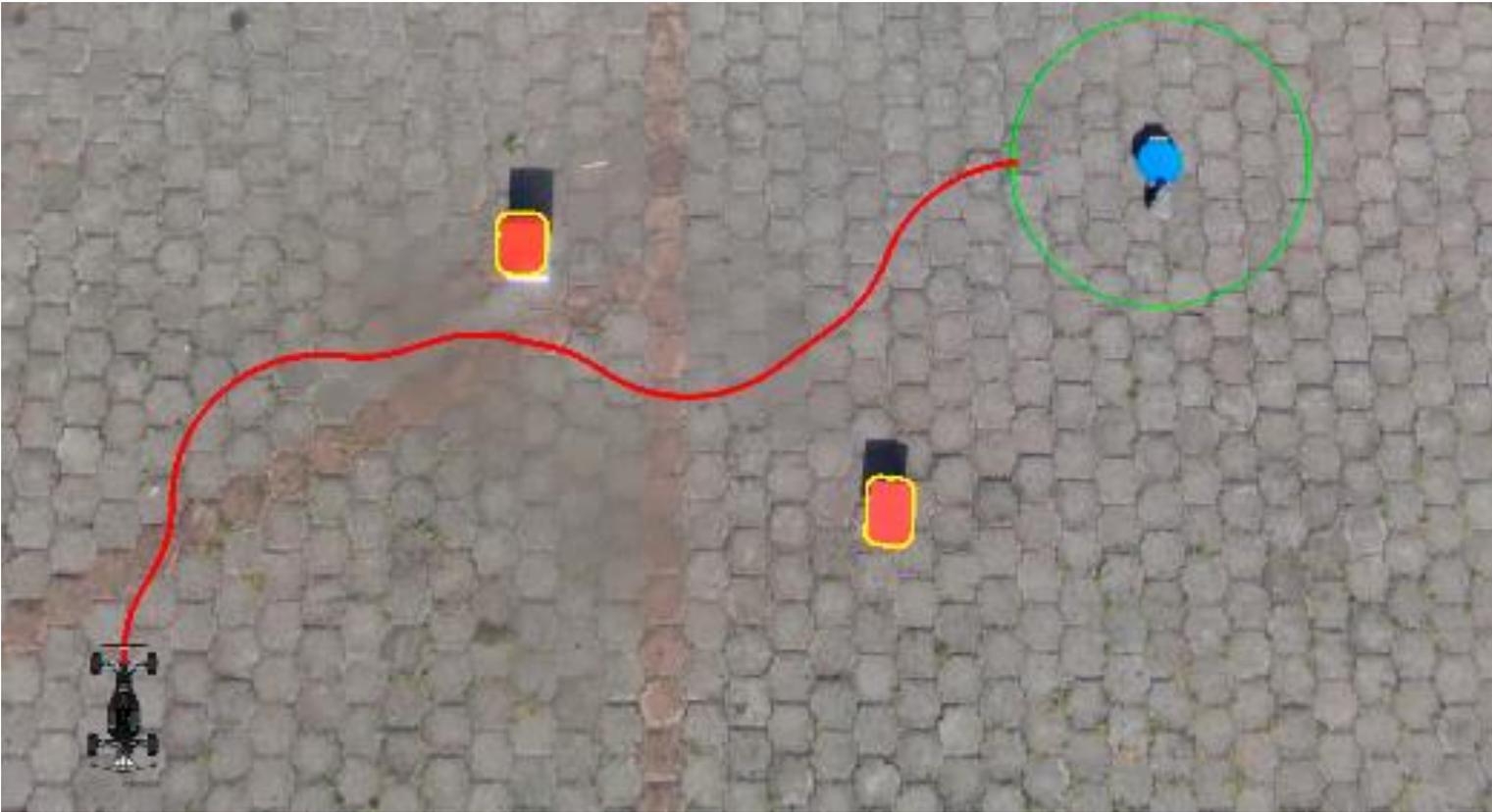


(b)



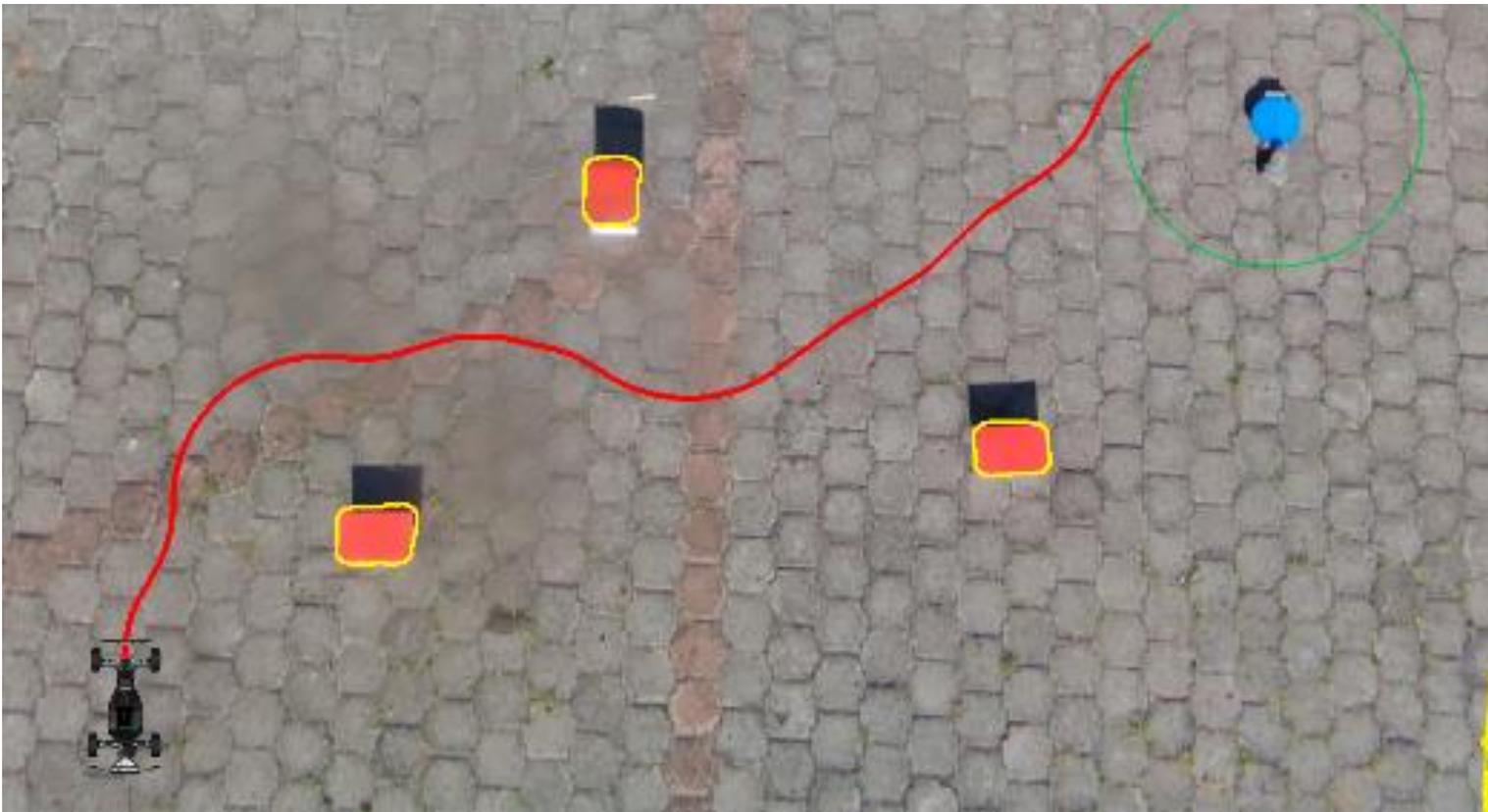
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

RESULTADOS:



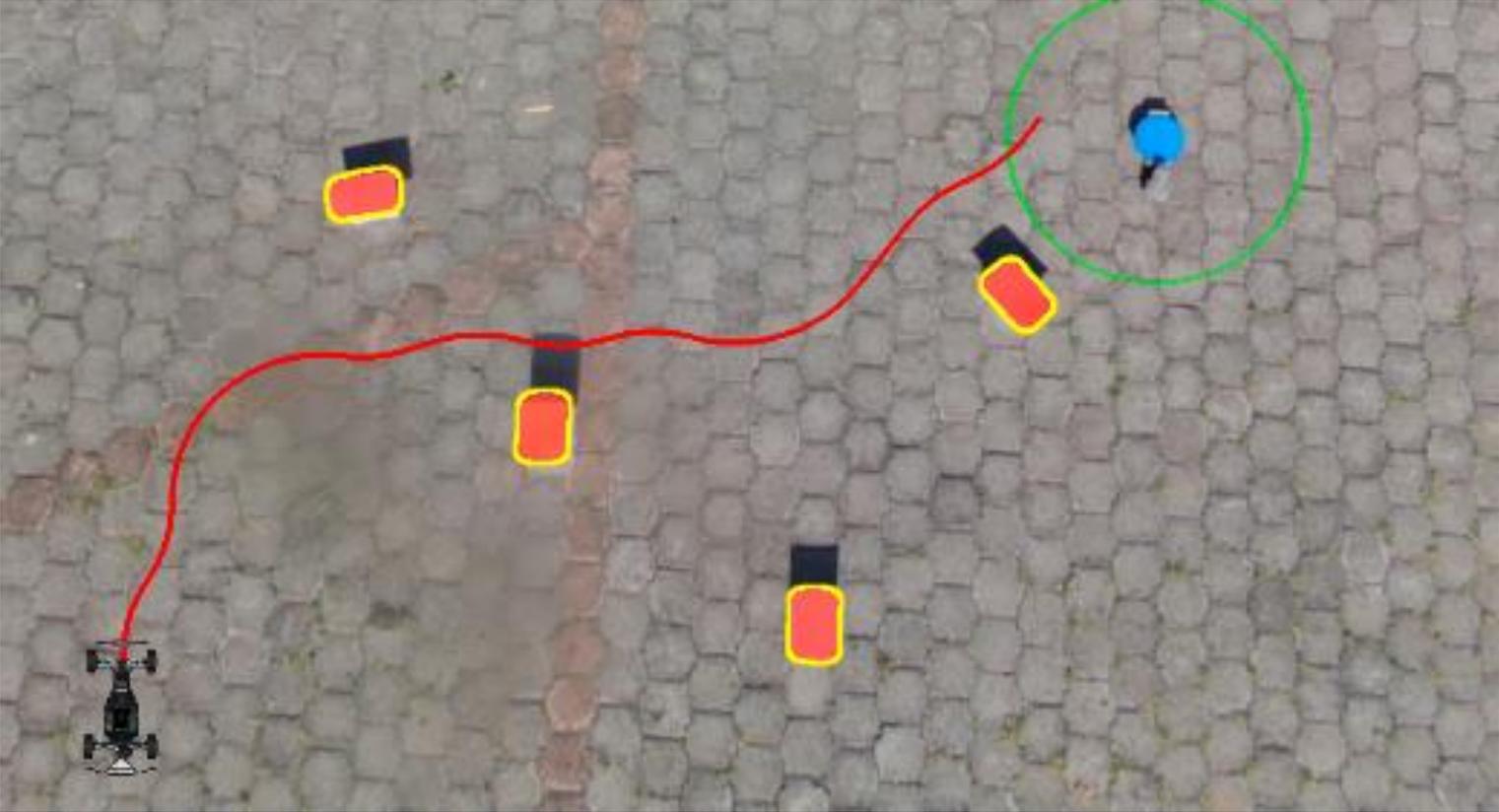
(c)

RESULTADOS:



(d)

RESULTADOS:



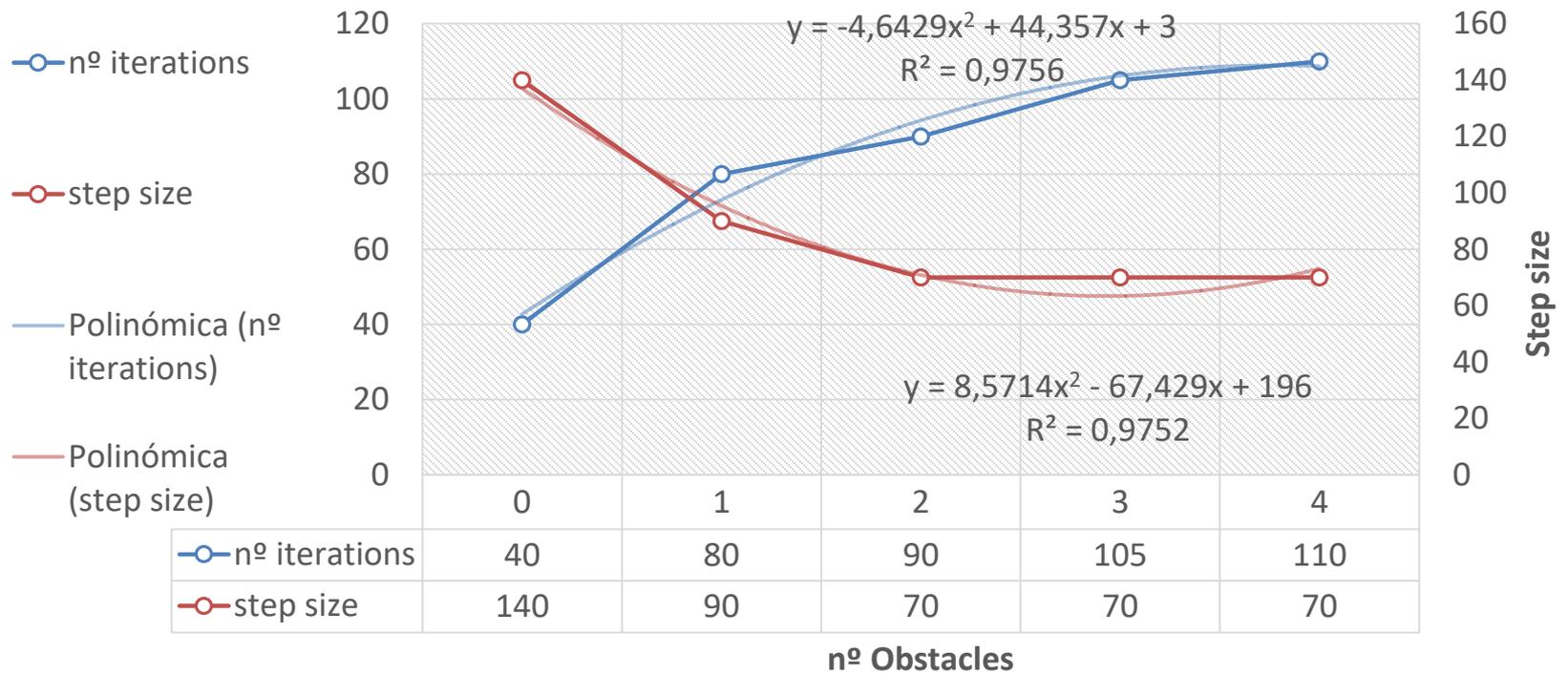
(e)



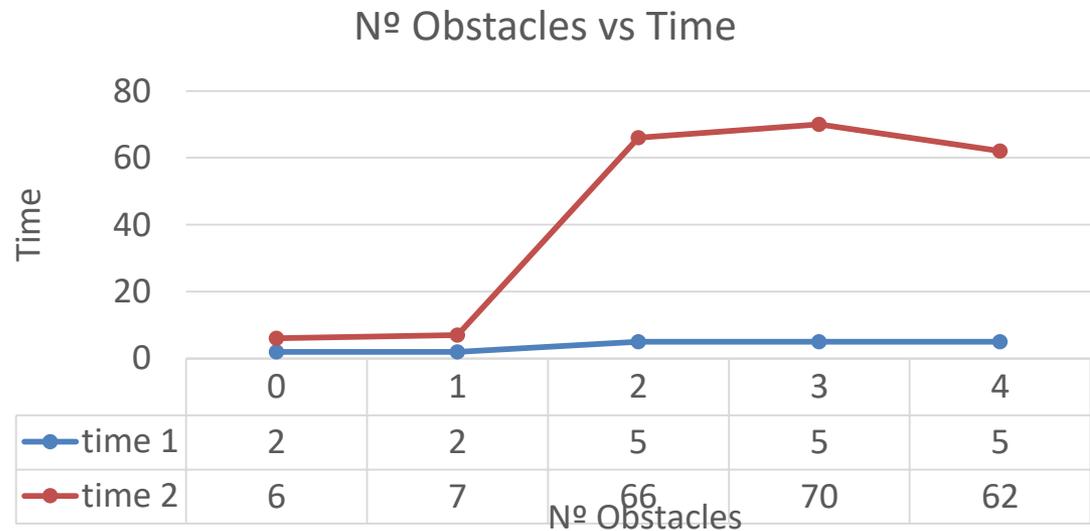
RESULTADOS:

- El algoritmo cumple su propósito porque la ruta establecida (línea roja) comenzó desde la posición del automóvil hasta la configuración final (círculo azul) evitando los obstáculos. Otro aspecto a considerar fue que la posición del objetivo debe tener un radio de tolerancia de 60 píxeles medido desde el punto central de la posición del objetivo.
- La primera medición de resultados (ver Fig. 6) mostró que en los casos en los que se agregaron obstáculos, era necesario aumentar el número de iteraciones para alcanzar la configuración deseada. Las cuarenta iteraciones fueron las mínimas para alcanzar la meta en el primer caso, en comparación con el quinto caso en el que fue necesario al menos 110 iteraciones para establecer un camino para que el UGV represente.

Nº Obstacles vs Input data



- El tiempo de procesamiento requerido por el algoritmo en comparación con el número de obstáculos se presenta en (Fig. 7). La línea azul (tiempo 1) describe el tiempo necesario para expandir RRT * utilizando una entrada de datos óptima para cada caso. El rojo (tiempo 2) describe el tiempo requerido para alcanzar el destino objetivo si los datos se fijan con valores de 30 píxeles para el tamaño del paso y el número máximo de iteraciones es 1500.



CONCLUSIONES

- De los datos mencionados anteriormente en este documento, podemos concluir que existe una relación directa entre varias iteraciones, el tamaño de los pasos y la cantidad de obstáculos. En el caso de que haya pocos obstáculos dentro del espacio de trabajo, podemos configurar el tamaño del paso en un valor máximo de 140 píxeles, lo que permite reducir el número de veces que la dirección mecánica del UGV tiene que girar. El número de iteraciones es directamente proporcional al número de obstáculos porque, más obstáculos en la escena requieren construir más iteraciones para alcanzar la meta con un camino óptimo.



CONCLUSIONES

- Establecer datos de entrada constantes no era la forma más eficiente de ejecutar el algoritmo porque si la configuración del tamaño del paso es demasiado baja, cerca de 30 píxeles, el UGV puede tomar un tiempo excesivo para seguir la ruta y requerir demasiados cambios en la dirección de la robot.



CONCLUSIONES

- Este estudio ha determinado la importancia de configurar los parámetros iniciales para construir el algoritmo RRT *. Teniendo en cuenta que la planificación de la ruta se basa en un planificador global, es importante obtener los parámetros en el menor tiempo y la mejor manera posible para obtener un mejor enrutamiento de datos entre UGV y UAV. Además, el estudio es la primera etapa de una investigación global para desarrollar un sistema de robot colaborativo, nos centramos en obtener un camino correcto para que un robot móvil navegue sin chocar con objetos a su alrededor. Finalmente, este trabajo podría complementarse con el desarrollo del control de búsqueda pura para UGV.



¡Gracias!



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA