

Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN  
Unidad Tamaulipas  
**Protocolo de tesis**

Título: Estrategias para la exploración coordinada multi-VANT

Candidato: Luis Alberto Ballado Aradias

Asesor: Dr. José Gabriel Ramirez Torres

Co-Asesor: Dr. Eduardo Rodriguez Tello

5 de julio de 2023

**Resumen**

Una de las áreas de investigación dentro de la robótica móvil inteligente es la **navegación autónoma**. Diversas estrategias algorítmicas dotan al robot de habilidades para cumplir la tarea de navegar dentro de un ambiente dependiendo de la representación que se tome del mundo (celdas de ocupación, mapas topológicos sólo por mencionar algunos). Antes de llevar acabo la tarea de navegar, es necesario que el robot conozca el entorno donde se planea desplazarse. Es donde la **exploración** toma un factor importante en la construcción de mapas a partir de un entorno que el robot móvil no conoce. Con el desarrollo y avances en la tecnología de baja potencia, es posible recabar información necesaria para la elaboración de mapas en ambientes desconocidos. A lo largo del desarrollo de robots móviles inteligentes ha surgido la necesidad de tener una **coordinación multi-robot** para desempeñar tareas que van desde explorar zonas desconocidas hasta reubicar objetos de lugar. Evitar colisiones y la coordinación del grupo de robots móviles es una tarea que un robot que forme parte del grupo de robots debe desempeñar. Otro aspecto es determinar a que lugares los robots deben moverse para obtener información del entorno, definimos **exploración** como el acto de moverse en un ambiente desconocido, mientras se construye su mapa que es usado para navegaciones posteriores. Para ello, debemos identificar puntos de referencia como objetivos de exploración, para luego asignar los objetivos a los robots. Decimos que cuando se utiliza más de un robot es deseable que la asignación de objetivos se lleve a cabo siguiendo una estrategia de coordinación para evitar que los robots exploren los mismos lugares o que se obstaculicen entre sí. Los entornos estructurados como edificios, hogares y otras construcciones humanas son entornos que pueden dividirse en segmentos, como habitaciones y corredores. En este tipo de entornos una posible estrategia de coordinación es la de llevar a cabo la exploración maximizando la distribución de los robots sobre los segmentos. Los comportamientos reactivos se han sido estudiado desde los años 80's junto con las propuestas de diferentes tipos de arquitecturas que hasta hoy en día son modelos base para la construcción de un robot. Se han comprobado que llevar estos reactivos a etapas de planificadores locales resuelve el problema de navegación en ambientes cambiantes. El objetivo de este trabajo es la propuesta de una arquitectura resiliente a fallas, capaz de explorar ambientes desconocidos y cambiantes para la coordinación de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT). El proyecto de investigación demostrará que es posible diseñar algoritmos inteligentes de poca memoria capaces de resolver tareas en colaboración multi-VANT.

Palabras claves: multi-VANT, coordinación multi-agente, 3D mapping, 3D Path finding

## 1. Datos Generales

### 1.1. Título de proyecto

Estrategias para la exploración coordinada multi-VANT

### 1.2. Datos del alumno

Nombre: Luis Alberto Ballado Aradias  
Dirección: Juan José de La Garza #909  
Colonia: Guadalupe Mainero C.P. 87130  
Teléfono (casa): 81 20706661  
Teléfono (lugar de trabajo): (834) 107 0220 + Ext  
Dirección electrónica: luis.ballado@cinvestav.mx  
URL: <https://luis.madlab.mx>

### 1.3. Institución

Nombre: CINVESTAV-IPN  
Departamento: Unidad Tamaulipas  
Dirección: Km 5.5 carretera Cd. Victoria - Soto la Marina.  
Parque Científico y Tecnológico TECNOTAM,  
Ciudad Victoria, Tamaulipas, C.P. 87130  
Teléfono: (+52) (834) 107 0220

### 1.4. Beca de tesis

Institución otorgante: CONAHCYT  
Tipo de beca: Maestría Nacional  
Vigencia: Septiembre 2022 - Agosto 2024

### 1.5. Datos del asesor

Nombre: Dr. José Gabriel Ramírez Torres  
Dirección: Km. 5.5 carretera Cd. Victoria - Soto la Marina  
Parque Científico y Tecnológico TECNOTAM  
Ciudad Victoria, Tamaulipas, C.P. 87130  
Teléfono (oficina): (+52) (834) 107 0220 Ext. 1014  
Institución: CINVESTAV-IPN  
Departamento adscripción: Unidad Tamaulipas  
Grado académico: Doctorado

Nombre: Dr. Eduardo Arturo Rodríguez Tello  
Dirección: Km. 5.5 carretera Cd. Victoria - Soto la Marina  
Parque Científico y Tecnológico TECNOTAM  
Ciudad Victoria, Tamaulipas, C.P. 87130  
Teléfono (oficina): (+52) (834) 107 0220 Ext. 1100  
Institución: CINVESTAV-IPN  
Departamento adscripción: Unidad Tamaulipas  
Grado académico: Doctorado

## 2. Descripción del proyecto

Generación de una arquitectura descentralizada capaz de coordinar la exploración de múltiples Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) en ambientes desconocidos y cambiantes.

### 2.1. Antecedentes y motivación para el proyecto

A raíz de la alta demanda de vehículos aéreos no tripulados, han provocado la disminución de sus precios en el mercado, haciendo accesible su adquisición. En recientes años, dotarlos de inteligencia para explotar la información recolectada de sensores a bordo del VANT ha sido y es un área estudiada en robótica móvil aérea (Construcción de Mapas). Buscando probar diferentes teorías de control, convirtiendo los problemas típicos de control 2D (péndulo inverso fijo) a un ambiente 3D, teniendo así más variables a controlar buscando mantener el equilibrio del péndulo y al mismo tiempo lograr el movimiento y las maniobras deseadas del dron en el espacio tridimensional..

El despliegue rápido de robots en situaciones de riesgo, búsqueda y rescate ha sido un área ampliamente estudiada en la robótica móvil. Donde se han aplicado teorías de grafos para la obtención óptima de la mejor ruta. Los comportamientos reactivos son primordiales si pensamos en un agente autónomo. Esa percepción que podemos tener los seres humanos para reaccionar a ciertos retos. Buscar la manera de crear una arquitectura tolerante a fallas y capaz de coordinar múltiples vehículos aéreos no tripulados a medida que incrementa o disminuye la oferta de drones disponibles

## 3. Planteamiento del problema

Para poder desplazarse en un ambiente desconocido lo primero es explorar el área y a medida que se obtiene información del espacio se pueden calcular las rutas más cortas o ciertas características que nos ayuden a conocer donde estoy dentro de un ambiente desconocido. Estudios en robótica móvil por más de 25 años han demostrado que la teoría de grafos ha ayudado mucho al área ya que se representaba como grafos planos y ahora al tener el agente robot en el aire, el problema se vuelve 3D.

Dada un área de interés  $A$  que se desea explorar,

- Un conjunto de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) denotados como  $V = V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ , donde  $n$  es el número total de VANT's disponibles
- Un conjunto de tareas de exploración denotados como  $T = T_1, T_2, T_3, T_m$ , donde  $m$  es el número total de tareas a realizar.

restricciones y requisitos específicos del problema, como límites de tiempo, obstáculos a evitar, etc.

Para cada tarea de exploración  $T_m$ , se definen las siguientes variables:

- Posición inicial:  $p_i(x, y, z)$ , representa la posición inicial del VANT o los múltiples-VANTs asignados a la tarea  $T_m$
- Trayectoria:  $\alpha_i$ , describe la trayectoria seguida por el/los VANT(s) asignado(s) a la tarea  $T_m$  en función del tiempo  $t$
- Información recolectada:  $C_i$ , representa la información recolectada por el/los VANT(s) asignado(s) durante la exploración

La función objetivo variará según los objetivos específicos del problema.

- Maximizar la cobertura del área de interés  $A$
- Minimizar el tiempo total requerido para cubrir el área de interés  $A$
- Maximizar la cantidad de información recolectada

## 4. Objetivos generales y específicos del proyecto

### General

Creación de una arquitectura tolerante a fallas para la coordinación de múltiples VANT's aplicados a la tarea de búsqueda y rescate.

### Particulares

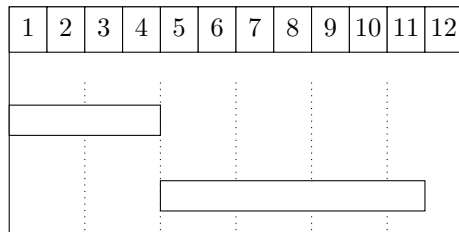
- Evitar colisiones: El objetivo primordial es garantizar que los drones eviten colisiones entre sí y con otros objetos en su entorno. La coordinación adecuada asegura que los drones mantengan una distancia segura y sigan rutas que minimicen el riesgo de colisión.
- Eficiencia y rendimiento: La coordinación de múltiples drones busca optimizar la eficiencia y el rendimiento del sistema en su conjunto. Esto implica asignar tareas de manera óptima entre los drones, minimizar los tiempos de espera y los tiempos de respuesta, y maximizar la capacidad de realizar tareas en paralelo.
- Cumplimiento de objetivos: Los drones pueden tener objetivos específicos a cumplir, como la recolección de datos, la entrega de paquetes o la vigilancia de áreas. La coordinación tiene como objetivo garantizar que cada dron contribuya de manera efectiva al logro de los objetivos generales, sin redundancia ni superposición de tareas.
- Distribución equitativa de tareas: Si los drones tienen capacidades o limitaciones diferentes, como la duración de la batería o la capacidad de carga, se busca una distribución equitativa de la carga de trabajo entre los drones. Esto asegura que todos los drones contribuyan de manera equilibrada y evita la sobrecarga de algunos drones mientras otros están subutilizados.
- Comunicación y sincronización: La coordinación requiere una comunicación efectiva entre los drones para intercambiar información y sincronizar sus acciones. El objetivo es establecer una comunicación confiable y eficiente que permita la transmisión de datos relevantes y las instrucciones necesarias para la coordinación.
- Adaptabilidad y flexibilidad: Los objetivos de la coordinación pueden cambiar en función de las circunstancias y las necesidades. La coordinación de múltiples drones debe ser adaptable y flexible para ajustarse a cambios en el entorno, nuevos objetivos o la incorporación o salida de drones del sistema.

## 5. Metodología

La metodología propuesta para esta tesis se divide en tres etapas, iniciando en septiembre del 2023. A continuación se detallan cada una de las actividades que se plantean realizar en cada una.

1. Análisis y diseño de la solución propuesta
2. Implementación y validación
3. Evaluación, resultados y conclusiones

## 6. Cronograma de actividades (plan de trabajo)



## 7. Estado del arte

- Planificador de trayectorias
- Arquitectura de robots coordinados
- Percepcion de información 3D a partir de sistemas de vision por computadora

## 8. Contribuciones o resultados esperados

⟨introducir esta parte⟩

Se espera entregar:

1. Códigos a disposición de la comunidad
2. Simulación de solución
3. Prototipo de solución
4. Tesis impresa.

## 9. Referencias

Fecha de inicio

Fecha de terminación

Septiembre de 2023

Agosto de 2024

Firma del alumno: \_\_\_\_\_

Comité de aprobación del tema de tesis

Dr. José Gabriel Ramírez Torres

\_\_\_\_\_

Dr. Eduardo Arturo Rodríguez Tello

\_\_\_\_\_