


UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA

FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO

Nº DE RADICACIÓN: _____

INFORMACIÓN EJECUTORES

Ejecutor 1

Nombre (s):	Jheison Javier	
Apellido (s):	Garzón Pineda	
Código:	20122375064	
E-mail:	Jheison.trabajo@gmail.com	
Teléfono fijo:	567 46 83	
Celular:	313 286 6382	

Ejecutor 2

Nombre (s):	
Apellido (s):	
Código:	
E-mail:	
Teléfono fijo:	
Celular:	

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto:	Diseño e implementación de algoritmo para la localización e interacción entre tres plataformas móviles terrestres a través de visión artificial	
Duración (estimada):	6 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Tesis para optar a título ingeniero	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Desarrollo tecnológico local e institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Diseño en ingeniería mecánica	
Grupo de Investigación:	DISING	
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:		

INFORMACIÓN PASANTÍA

Nombre de la empresa:	
Dirección:	
Teléfonos:	
Correo electrónico:	
Página Web:	

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Director: (Vo. Bo.)	Ing. John Alejandro Forero Casallas
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	

Contenido

1.	Planteamiento del problema	2
1.1	Estado del arte	3
	• Navigation, localization and stabilization of formations of unmanned aerial and ground vehicles UAV [1]	4
	• Visual Odometry for Autonomous Outdoor Flight of a Quadrotor UAV[2]	5
	• Vision-based Terrain Referenced Navigation for Unmanned Aerial Vehicles using Homography Relationship [3]	7
	• Cooperative visual team working and target tracking of mobile robots[4].....	8
1.2	Justificación	10
2.	Objetivos	12
2.1	Objetivo general.....	12
2.2	Objetivos específicos.....	12
3.	Marco Teórico	13
4.	Metodología	16
4.1	Fase 1. Conceptualización y especificación del proyecto	16
4.2	Fase 2. Diseño de sistemas y elementos	17
4.3	Fase 3. Implementación de sistemas y elementos en conjunto	18
4.4	Fase 4. Documentación y entrega del proyecto.....	18
5.	Cronograma.....	19
6.	Presupuesto	20
7.	Bibliografía	22

1. Planteamiento del problema

En la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas existe el grupo de investigación en Robótica Móvil Autónoma (ROMA) el cual se dedica a la preparación y formación a través de cursos para diferentes ramas como Tecnología Electrónica o ingeniería de control. También se dedica actividades de investigación enfocadas a la formación de investigadores, el desarrollo de proyectos de investigación y la transferencia de tecnología.

Uno de los proyectos de investigación creados por medio del grupo ROMA es el llamado ROMABOT el cual está dedicado a la investigación y desarrollo de Vehículos Terrestres no tripulados (UGVs) para la búsqueda de víctimas por desastres naturales, en el desarrollo del proyecto se ha involucrado al grupo de investigación DISING del proyecto Curricular de Ingeniería Mecánica con el fin de desarrollar un sistema de control para los UGVs mediante visión artificial, este sistema se desarrollara para implementarlo y usarlo en el coliseo con que cuenta la facultad, donde se realizará la integración de los sistemas desarrollados por los diferentes grupos de investigación al fin de constituir el objetivo principal del proyecto de investigación ROMABOT.

La tarea primordial que se debe realizar cuando ocurre cualquier tipo de desastre es la pronta búsqueda y rescate de víctimas siendo la vida de las personas el bien máspreciado de cualquier sociedad. Esta tarea resulta ser compleja según el entorno en que se presente por lo complejo que puede presentarse el terreno y entorno en el que se esté trabajando, ya que puede en la ejecución de la labor de rescate presentasen más víctimas por inestabilidad del terreno o estructuras lo que aumentaría el número de víctimas de la catástrofe ocurrida, teniendo lo anterior en consideración, el uso de robots para tareas de búsqueda se convierte en excelente herramienta ya que estos pueden tener acceso a terrenos peligrosos y de difícil acceso, incluyendo la capacidad de ampliar el espectro de búsqueda con el uso de diferentes herramientas o sensores de identificación específicos como cámaras térmicas, todo esto sin tener en cuenta el incomparable costo de inversión comparado con la posibilidad de perder una vida humana realizando labores de búsqueda.

El uso de visión artificial como herramienta para el control de robots es una alternativa que resulta atractiva por la facilidad que presenta a la hora de realizar reconocimiento de diferentes objetivos con distintas características de acuerdo a la necesidad específica. Tal es el caso actual que requiere se identifique y localicen varios vehículos al mismo tiempo en un entorno específico.

El proyecto que se encaminará al desarrollo del sistema de control de los UGVs transcurrirá entre los últimos meses del año en curso 2013 y comienzos del año próximo 2014.

De allí el planteamiento de la inquietud ¿es posible diseñar un sistema para la localización y control de mini vehículos terrestres no tripulados dedicados a la búsqueda de víctimas en tareas de rescate?

1.1 Estado del arte

En este documento se presenta inicialmente una serie de información relevante encontrada en la bibliografía disponible, dando una introducción del tema trabajado y posteriormente una descripción más precisa sobre el modo en el que se enfoca y desarrolla la investigación sobre los métodos y medios utilizados para el control basado en la visión de vehículos no tripulados (Unmanned Vehicle). Con el fin de obtener un panorama claro sobre las posibles soluciones que se han desarrollado en diversos lugares al problema del control de estos vehículos basado en la visión.

Durante los últimos años se ha podido apreciar un fuerte interés a nivel mundial desde la academia, la industrial privada y pública, los gobiernos a través de los entes estatales como el sector militar, todos dirigidos hacia la investigación y desarrollo de tecnologías para el uso de vehículos no tripulados en distintos medios, aunque el principal desarrollo e impulso, como ha sucedido a lo largo de la historia, en el campo ha sido dominado por la industrial militar, se ha encontrado que un porcentaje significativo de las aplicaciones se está enfocando en ambientes civiles y de dominio público como la asistencia en situaciones de salvamento y rescate, protección de bosques con detección temprana de incendios o la mejora en la calidad de vida de las personas.

En el transcurso del tiempo en el desarrollo de los vehículos no tripulados se encuentran diferentes tipos de estos de acuerdo a las características, medios de uso, tamaño o características de diseño los principales se agrupan de la siguiente forma:

- Vehículos Aéreos No tripulados (*Unmanned Aerial Vehicle – UAVs*)
- Micro Vehículos Aéreos No tripulados (*Micro Aerial Vehicle Unnamed - MUVAs*)
- Vehículos Terrestres No tripulados (*Unmanned Ground Vehicle - UGV*)
- Micro Vehículos Terrestres No tripulados (*Micro Unmanned Ground Vehicle - MUGV*)

En La bibliografía disponible en los medios se encuentra gran variedad de información y grupos dedicados al avance de esta tecnología, la mayoría de estos enfocándose en los grupos de los Micro vehículos bien sea aéreos, terrestres o en conjunto por el bajo costo que en comparación se tiene con los vehículos no tripulados.

La asociación en los Estados Unidos **ICUAS** sin ánimo de lucro, dedicada a la organización de conferencias anuales para la publicación de las últimas actualizaciones en los avances del conocimiento desarrollado para *Sistemas No Tripulados* (Unmanned Systems) es patrocinada por diferentes organizaciones como la Universidad de Denver, la Sociedad de Sistema de Control IEEE (*IEEE Control Systems Society*), la Sociedad de Robótica y Automatización IEEE (IEEE Robotics and

Automation Society) y Asociación de Control del Mediterráneo (Mediterranean Control Association - MCA). En Mayo de 2013 llevo a cabo la *ICUAS 2013 : The 2013 International*

Conference on Unmanned Aircraft Systems donde se presentaron múltiples desarrollos a nivel mundial, el sitio web de la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=6552462> publica todos los artículos presentados en la conferencia.

Un elemento importante en el creciente interés y evolución de estos vehículos es el sistema de control desarrollado para éstos y los diferentes enfoques y métodos utilizados. El control basado a través de la visión es uno de los más prometedores y con mayor importancia, énfasis y relevancia en el que se están basando varias investigaciones, a continuación se presenta distintas publicaciones donde se muestran un resumen sobre el trabajo realizado los métodos desarrollados y las conclusiones obtenidas.

- **Navigation, localization and stabilization of formations of unmanned aerial and ground vehicles UAV [1]**

Resumen: la investigación se enfoca en el desarrollo de un sistema múltiple de vigilancia con el uso en conjunto de Vehículos Terrestres Autónomos (UGVs) y Micro Vehículos Aéreos Autónomos (MAVs) donde son utilizados en mayor cantidad para la tarea de vigilancia los UGVs. La ventaja presentada al implementar el uso de los MAVs es tener una visión desde la altura de obstáculos que no son percibidos por medio terrestre además de lograr cubrir espacios más amplios y de difícil acceso. Se busca tener una solución complementaria al emplear un sistema heterogéneo formado por ambos grupos de vehículos para el control y definición de trayectorias obteniendo una localización relativa precisa y confiable de cada miembro del grupo disminuyendo la probabilidad de colisiones entre ellos y los obstáculos presentados en el campo.

La solución propuesta es pensada los inconvenientes presentados en misiones de reconocimiento y vigilancia de los UGVs en entornos urbanos e interiores donde la precisión y fiabilidad ofrecida por los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) no es suficiente, debido a los puntos ciegos de visión que se presentan por la presencia de obstáculos donde se realizan las labores. El aporte que presenta la localización de los miembros de equipo desde una visión de altura se logra con el uso de pequeñas cámaras instaladas en el MAVs y el uso de patrones de identificación en los UGVs y el MAV, así se conseguirá la localización relativa visual de los robots. También se propone el uso de la técnica de navegación basada en visión en el medio ambiente llamado GeNav, el método consiste en la conducción de la formación generando trayectorias pre-aprendidas por características detectadas en imágenes obtenidas por una cámara monocular que se encuentra en un miembro líder en el equipo.

El método utilizado está basado en el modelo de control predictivo (MPC) buscando desenvolver las limitaciones impuestas: 1. relación de localización entre vehículos es decir

la formación del grupo, 2. Problemas de movilidad en conjunto de los vehículos, 3. manejo de obstáculos presentes en el entorno y 4. Técnica de navegación de todo el grupo a través de una trayectoria definida por segmentos rectos. El MPC es utilizado por su utilidad en la estabilización de sistemas no lineales con restricciones de control generando una respuesta favorable a los cambios dinámicos presentados en el entorno, el equipo se utiliza para resolver el problema de localización desde una visión superior para lograr una formación estable involucrando a los UGVs y MAVs en conjunto o por separado.

El método se desarrolla para un grupo de robots que se encuentran en un área grande en busca de víctimas siguiendo una trayectoria determinada por un supervisor experto manteniendo una formación adecuada evitando obstáculos. Se emplea un robot líder en el grupo (UGVs o MAVs) llamado GeNav con el que se realiza la navegación basada en detección de características de imágenes (Speeded Up Robust Features - SURF). El sistema es adecuado para la orientación de los vehículos a lo largo de una ruta, aunque no es suficiente en la coordinación total de los vehículos pues su precisión es de 20 cm. Para conseguir una mayor precisión se utilizan los MAVs dispuestos con cámaras para determinar la ubicación de todos los robots terrestres y un MAV a mayor altura para tener control de los demás MAVs, el sistema proporciona un patrón de posición relativa entre los vehículos con cámara y el líder GeNav consiguiendo una mayor aproximación en la formación de los vehículos con una precisión alrededor de 1cm.

Conclusiones y resultados: Se construye un nuevo algoritmo presentado para la estabilización de la formación de robots con la técnica de robot líder GeNav basada en la visión desde un plano superior con los MAVs. Demuestran que el uso de sistemas sencillos basados en visión son adecuados para conseguir un control más preciso de equipos de no tripulados terrestres y aéreos en espacios abiertos sin estructuras pre-instaladas consiguiendo que se eviten los obstáculos encontrados manteniendo una formación segmentada que se adapta a la trayectoria generada.

- **Visual Odometry for Autonomous Outdoor Flight of a Quadrotor UAV[2]**

Resumen: el trabajo está orientado a la implementación y uso de un sensor de flujo óptico de dispuesto para estimar la velocidad de translación y posición de MAVs en espacios abiertos externos o cerrados internos sin la necesidad de utilizar la información proporcionada por un GPS que en muchas ocasiones por las condiciones físicas del entorno se bloquean o pierden la señal. Este sensor óptico es adecuado para el uso en mini y micro vehículos aéreos gracias a su pequeño tamaño y ligero peso, también se utiliza un controlador PD dedicado a sintonizar y compensar las mediciones adquiridas por

el sensor de flujo óptico. El enfoque del sensor-controlador compuesto es la propuesta presentada como método para el control de un mini helicóptero con cuatro rotores.

El avance en la microelectrónica, Micro Electrónica Mecánica (MEMS), sensores, materiales compuestos y el aumento en la velocidad de procesamiento de datos y cálculos ha contribuido al creciente interés por el desarrollo de MAVs además de su bajo costo de fabricación y acceso comparado con los UAVs (Vehículos Aéreos No Tripulados), así se han desenvuelto en tareas civiles y académicas como la exploración de entornos peligrosos o contaminados, tareas de reconocimiento y asistencia forestal o el monitoreo de tráfico, dejando de ser únicamente recurso disponible y controlado por la industria militar por los altos costos de investigación que implicaban.

La propuesta se centra en el control de vuelo de un mini helicóptero MAVs en para conseguir un vuelo estacionario o desplazamiento referenciado con el suelo en espacios interiores o exteriores utilizando en la plataforma un sensor de flujo óptico ADNS-3080 con un lente adaptado para aumentar el rango de operación como alternativo o complemento en el uso de un GPS el cual no siempre está disponible o proporciona información errónea. Este complemento muestra una mejora significativa en la obtención de datos en el momento de determinar la velocidad y posición de vehículo en referencia al suelo. La plataforma del helicóptero está también equipada con un sensor de presión barométrica que cumple con la función de altímetro, el uso del control sólido PD se centra en lograr vuelos estacionarios corrigiendo la información obtenida en las variables de la velocidad y posición del robot.

Con el ADNS-3080 sensor de flujo óptico Avago con un lente adaptado de 8 mm que incluye una cámara interna de baja resolución y un procesador de señal digital (DSP) logra tomar mediciones de translación, velocidad lineal y velocidad rotacional del MAV por medio de la imagen captada y su variación referencia con relación a las velocidades y posición en los 3 ejes X, Y y Z definiendo un marco de referencia inercial. El sensor proporciona mediciones a partir de la variación en las características de las imágenes en dos direcciones ΔX y ΔY , mientras que Δz se determina con el uso del sensor barométrico. El sensor determina la variación a través de la comparación en la secuencia de imágenes obtenidas con base en una superficie plana determinando el movimiento relativo entre el sensor y la superficie inicial establecida, estimación del flujo en generada por un algoritmo de corrección unidireccional.

Conclusiones y resultados: el método de control para el vehículo es el uso de un sistema robusto donde se estima la posición y velocidad por medio de un sensor de flujo óptico integrado con un sensor barométrico y un controlador sólido PD que actúa como filtro de la señal obtenida por el sensor.

El uso del enfoque conceptual de la odometría visual propuesto con la medición del sensor de flujo óptico es una alternativa adecuada para conseguir la navegación autónoma de un MAVs en espacio libre exterior o interior cuando las señales entregadas por GPS no están disponibles o presentan información errónea, es importante que este desarrollo es sustentado en el uso de vehículos con carga útil limitada por su pequeño tamaño y ligero peso.

- **Vision-based Terrain Referenced Navigation for Unmanned Aerial Vehicles using Homography Relationship [3]**

Resumen: Se propone la utilización de un sistema de visión monocular instalado en un Vehículo Aéreo No tripulado UAVs con un algoritmo de descomposición homografía relacionando características básicas de la tierra para la estimar el desplazamiento. El uso de integración Bayesiana como filtro para un punto-masa de referencia usando como datos de entrada la traslación del UAVs combina la información obtenida por el sistema de visión y los datos de la altura medidos. Esto se condensa en el uso de un Sistema de Navegación con Referencia en el Terreno (TRN) basada en visión que reemplaza un Sistema de Navegación Inercial (INS) que a pesar tener un bajo costo no se obtiene gran precisión en los datos adquiridos junto con y los sistemas de posicionamiento global GPS que son utilizados para estimar la posición de vehículos.

El TRN usa la información sobre el terreno para determinar la posición de los vehículos, el algoritmo del TRN utiliza en conjunto la información de la Base de Datos de la Elevación Digital del Terreno (DTED) altímetro y el INS para estimar la posición del UAVs.

El proyecto se propone con un enfoque geométrico en la caracterización de los elementos distinguidos en las imágenes de la cámara monocular, éste sistema es conocido como homografía una vez se determinar las relaciones entre las características con base a una posición inercial. La estimación del movimiento a través de las imágenes se denomina odometría visual.

Conclusiones: Se propuso un Sistema de Navegación con Referencia en el Terreno TRN basada en visión con relaciones homograficas descompuestas y caracterizadas del terreno por una cámara monocular instalada en la plataforma de un UAVs que reemplaza la utilización de INS superando los errores presentados por el sistema calculando el movimiento de traslación.

Se determinó que la simulación numérica algoritmo propuesto en el TRN en conjunto con un radar altímetro y el sistema DTED proporciona datos suficientes para la navegación de un vehículo aéreo no tripulado sobre un terreno dado.

- **Cooperative visual team working and target tracking of mobile robots[4]**

Resumen: el trabajo aborda el problema de coordinar y hacer seguimiento de un grupo de robots semiautónomos por medio de un sistema visual en un ambiente no estructurado. La perspectiva se toma en dos formas, inicialmente se aborda el problema presentado una técnica basada en control visual para un robot que se dirige a un objetivo marcado, posteriormente se presenta un sistema de procesamiento del visual que utiliza imágenes de una cámara de vigilancia remota que localiza los robots dentro del entorno operativo en el que se encuentran.

El uso de robots en tareas militares de reconocimiento se ha presentado como una alternativa muy viable debido a la capacidad de poder cubrir una cantidad de terreno muy amplia con un número significativo de robots, desde ésta perspectiva se emprende el desarrollo del proyecto que busca conseguir por medio de un sistema de control visual en un ambiente no estructurado el reconocimiento de robots y control de los mismos que estén realizando una serie de tareas conjuntas o individuales, según sea el caso, y que continuamente este retroalimentado la posición entre los vehículos permitiéndose la organización de los mismos en formaciones que consigan la consecución de las tareas con mayor precisión y agilidad.

El objetivo es la obtención de un algoritmo que incorpore acciones de control de un grupo conformado por seis robots a escala semiautónomos, los robots están equipados con varios equipos y sensores a bordo como un sensor sonar, cámaras de video, brújula digital, datos inalámbricos para la transmisión de video y audio. El sistema de control remoto controla cada uno de los robots de acuerdo a la tareas específicas de cada uno, se utiliza la cámara de vigilancia remota para determinar la localización de cada uno de los robots con el procesamiento de las imágenes obtenidas, para la localización de cada robot con su objetivo y la ubicación de robot a robot se utiliza el control visual a través de las cámaras que se encuentran a bordo en cada vehículo.

La capacidad de navegación de un robot se puede delimitar desde cuatro competencias fundamentales: auto localización, planificación de ruta, construcción e interpretación de mapa y finalmente toma de decisiones inteligentes. Para el sistema de navegación es importante determinarse un punto referencia y reconocer las características interesantes del entorno, éste punto de referencia debe cumplir con ciertos requerimientos como el hecho de ser visible desde varias perspectivas, desde cualquier punto bien sea estático o en movimiento y que sea reconocible en diferentes condiciones de iluminación, ángulos de visión, etc. además de esto debe tener la capacidad de reconocer sus propios puntos de referencia. Las técnicas utilizadas para la conseguir el control de los puntos de referencia

es el uso de características previamente establecidas como longitudes de línea, relación de longitud y anchura, color, textura o relaciones únicas de geometrías. En el sistema desarrollado para conseguir el objetivo se utiliza la técnica llamada Landmark Feature empleando cuatro robots para la búsqueda y localización al azar en un lugar preestablecido utilizando el reconocimiento por relación de longitud-anchura y su contraste de color.

Se utilizan cuatro robots en un laboratorio no estructurado en el que se dispone una lata de coca cola como marca o punto de interés, los vehículos están provistos con una cámara y un sistema de audio/video. La imagen que es capturada por los robots individuales se procesa y mejora en 5 pasos:

1. Estabilización de la imagen balanceando el contraste del color.
2. Enfoca la imagen aplicando un filtro medio de 3x3.
3. Dividir la imagen en una retícula de celdas de 20x20.
4. Tomar el promedio inverso de la intensidad de los píxeles por cada celda.
5. Colocar una ventana sobre las celdas que producen una gran magnitud de intensidad inversa.

Una vez se ha reconocido la marca del punto de referencia se determina la posición del mismo con el robot, esto se realiza en dos pasos primero se procede determinar la posición de referencia en la imagen para conseguir centrarla en el marco con esto se consigue la direccionar al robot hacia el objetivo, luego se determina un camino medido entre el robot y la marca. Los robots utilizan una cámara económica de difícil calibración que presentan imágenes de baja calidad con mucho ruido. Se utilizan un transmisor inalámbrico de video de 900MHz con un capturado de imágenes PCMCIA que consigue 4 imágenes por segundo de 320x240 píxeles.

El inconveniente de localización de los robots en trabajo cooperativo se ataca con el uso de imágenes tomadas por una cámara de vigilancia externa dentro de un entorno operativo. El sistema utiliza la información asociada para planificar dinámicamente las tareas de los robots.

El objetivo principal de los robots en trabajo cooperativo es la localización de objeto de referencia una vez uno de los robots identifica el objeto informa a los restantes para que todos se aproximen al objeto a una distancia alrededor de 0.5m, cuando esto sucede el robot inicial procede a tomar el objeto con la pinza provista, cuando esto acontece la cámara a bordo de éste robot pierde el enfoque de la lata por lo que el sistema cooperativo de los robots utiliza la información de capturada por las cámara de los demás robots para conseguir la tarea.

En la identificación de los robots dentro del entorno se presentaron complicaciones debido al sistema de vigilancia remoto que se utiliza, donde se genera la obstaculización entre los robots, los objetos y elementos del entorno con esto las imágenes capturadas resultan ser distorsionada cerca a los bordes del marco de la imagen. Para evitar el

problema se procedió a la eliminación de los contenidos fronterizos de la imagen por medio de un filtro especial circular manteniendo el centro de la imagen para el análisis.

Para la localización de los robots es necesario aislar a cada uno y verificar la imagen para garantizar que se encuentra el robot representado, para ello se digitaliza la imagen y se toma la varianza, a continuación se realiza la digitalización binaria 2x2 de la imagen para obtener las características de la misma que serán comparadas con la plantilla binaria dispuesta.

Debido a que los robots poseen texturas, formas y características complejas, se determina el Cluster central encontrado en la imagen perteneciente a la plantilla que corresponderá a la ubicación central del robot lo que se comprueba delimitado la imagen y determinado que concuerda con las características propias del robot.

Para encontrar el Cluster central en las características de la imagen se propone dividir la imagen en una retícula de 20x20 contando el número de características coincidentes que aparecen y a continuación un centro de operaciones realiza la búsqueda para determinar la ubicación del Cluster central que cumple con el umbral en el conglomerado.

Tras la ubicación de del Cluster central se dispone una ventana alrededor de cada uno de los centros aplicando una técnica de detección de bordes para determinar que las características cumple con las designadas para corroborar que sea o no un robot. Para determinar las tareas y trayectorias de los robots se utiliza un sistema de control y supervisión mediante un software FMCell que ofrece un entorno integrado para el desarrollo de aplicaciones en robótica. El sistema mantiene actualizado la ubicación de los robots manteniendo el punto de referencia de cada uno reduciendo el error de localización.

Conclusiones: Se describen los algoritmos para el seguimiento y control visual de un objetivo con relación a su ubicación realizando trabajos cooperativos en un entorno no estructurado.

Para la localización estimada de los robots se desarrolló un sistema de control y supervisión mediante una cámara de vigilancia remota que realiza el seguimiento individual de los robots.

Los algoritmos propuestos fueron puestos en marcha en un laboratorio consiguiéndose resultados prometedores.

1.2 Justificación

El desarrollo del proyecto de un sistema de control basado en visión resulta una solución eficiente al problema existente dirigido al control de los vehículos terrestres no tripulados adaptado a las condiciones de aplicación requeridas como es el caso para el proyecto ROMABOT. Conseguir la

implementación del sistema dará un avance significativo para la adquisición de conocimiento a nivel tecnológico que dará pautas y será la base para el desarrollo de nuevos proyectos con enfoques similares.

El estado del arte muestra la existencia de diferentes métodos basados en la visión para conseguir el control de vehículos no tripulados desarrollados con diversos enfoques como el reconocimiento de espacios a través de imágenes para la navegación del vehículo. Estos sistemas se desarrollaron aplicados a diferentes condiciones de acuerdo a la necesidad para cada caso y el impacto generado sobre el proyecto en conjunto de ahí la importancia de lograr el desarrollo de un sistema de control conducido al problema planteado.

Los desarrollos que se han encontrado muestran la capacidad de control obtenida desde un sistema basado visión con una cámara a bordo de un vehículo bien sea terrestre o aéreo que consigue resultados efectivos suministrando la información adecuada y específica necesaria para el procesamiento y posterior ejecución de órdenes hacia los vehículos. Como principio estos sistemas están diseñados hacia la determinación de la localización del vehículo dentro del entorno dado en el que se encuentran. Se realiza el reconocimiento de patrones y asociación de los mismos entre sí, mientras se presenta el desplazamiento del vehículo en tiempo real. Así se realiza la comparación entre los patrones asociados y se obtiene la localización del vehículo. Teniendo éste precedente, el desarrollo del proyecto del sistema de control de los vehículos basado en visión utilizando una cámara ubicada en un punto fijo a una altura determinada para la localización en conjunto de varios vehículos terrestres no tripulados resulta atractivo pues con éste se conseguiría generar un parámetro de desplazamiento evitando las colisiones entre los vehículos o los obstáculos del entorno.

Un factor significativo para el desarrollo del proyecto que se pretende desarrollar es comprender que los distintos avances que se han generado en la rama y que están directamente implicados con el proyecto en desarrollo ROMABOT es que éstos han sido desarrollados por instituciones académicas y no se encuentran disponibles como un producto que pueda adaptarse a la necesidad presentada, debido a esto lograr desarrollar el sistema de control orientado a la manipulación de los UGVs es una de las razones más llamativas que trae consigo la presente propuesta. Además es importante entender que este desarrollo se realizará con los elementos, materiales y componentes disponibles en el mercado nacional de fácil acceso y con bajos costos, entendiendo que los costos y labores que implica la compra de materiales en el exterior resultan engorrosos y podría hacerse inviable.

Finalmente el proyecto se convertirá en una herramienta que será el inicio en la búsqueda por desplegar nuevas formas de control a distintos problemas que se presenten para proyectos de enfoque similar.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un algoritmo para la localización e interacción entre tres plataformas móviles terrestres, a través de un sistema de visión artificial para un ambiente controlado.

2.2 Objetivos específicos

1. Determinar el sistema de visión artificial
2. Determinar las características de visualización para cada una de las plataformas móviles.
3. Diseño de sistema de reconocimiento de características.
4. Implementación del sistema de reconocimiento
5. Diseño del sistema de localización global de cada una de las plataformas dentro del ambiente controlado.
6. Diseño del algoritmo de localización e interrelación de robots.
7. Implementación total del sistema para la localización e interacción de las plataformas móviles.

3. Marco Teórico

Un sistema de control puede estar dirigido a organismos vivos, maquinas eléctricas o mecánicas, organizaciones, etc. busca regular las conductas del mismo o las de otro sistema a través de componentes que logren la reducción en la probabilidad de fallos manteniéndose estables, controlando perturbaciones y errores de los modelos, también busca la consecución de resultados eficientes que evite el comportamiento erróneo del sistema según los parámetros previamente establecidos.

Uno de los principales sistemas que se abordan en el desarrollo de proyectos enfocados en los vehículos no tripulados es el dirigido al control de los mismos, para lo cual se encuentra el uso de diferentes tipos de sensores que proporcionen información determinada, específica y especial como sensores de proximidad, temperatura, altitud, posición, desplazamiento, velocidad, fuerza, caudal, luz, de presencia, proximidad, visión artificial, etc. que proporcionan información a través de transformación y procesamiento de señales de tipo analógica, digital, mixtas analógico/digital y procesamiento digital este último proporcionado por la visión artificial,

En el caso específico de los sistemas de control basados en la visión artificial es posible encontrar múltiples métodos y enfoques utilizados para el procesamiento de la información digital que es proporcionada. Éste sistema utilizado en varios de los recientes proyectos desarrollados resulta ser una solución innovadora, eficiente y con gran proyección además de potencial, debido a la capacidad de adaptarse a cualquier medio indiferente a su forma de uso o aplicación proporcionando gran cantidad de información que depende al método diseñado o aplicado consigue que el sistema de control cumpla con las necesidades requeridas para la aplicación del proyecto dado.

Vehículos autónomos no tripulados

Se puede considerar autónomo a cualquier vehículo con cierto nivel de autonomía para realizar trabajos definidos en espacios determinados sin encontrarse tripulados por personas que lo controlen, los vehículos autónomos no tripulados se pueden clasificar de acuerdo al medio en el que se desempeñen:

- Vehículo aéreo no tripulado (UAV - Unmanned Aerial Vehicle)
- Vehículo terrestre no tripulado (UGV - Unmanned Ground Vehicle)
- Vehículo marino no tripulado (UMV - Unmanned Aerial Vehicle)

Actualmente la investigación y desarrollo de vehículos autónomos no tripulados se ha convertido en una de las ramas de preferencia con gran difusión por la academia, los gobiernos, la industria pública y privada debido al amplio panorama de aplicación que se presenta sin importar el sector desde el cual se esté evaluando. El desarrollo que se ha presentado como muchos de los avances tecnológicos tuvo como pionero a la industria militar debido al alto costo que involucraba el uso

de las diferentes herramientas, componentes, materiales y recursos en general. Hoy en día gracias a los avances tecnológicos, la rápida y eficiente difusión de información y comunicación entre otros ha abierto la puerta a otras organizaciones que se involucran al proceso de investigación enfocado en estos vehículos para fines civiles, de ahí que hoy en día pueda encontrarse en los medio noticias sobre vehículos no tripulados bien sean aéreos, terrestres o marinos.

Las principales características de los robots y/o vehículos autónomos no tripulados como el sistema locomotriz, los sistemas de localización y cognición para navegación se pueden consultar en el libro *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. [5]

Visión artificial

Se puede determinar como principio de la visión artificial el año 1961 cuando Larry Roberts creo un programa que conseguía ver a través de una cámara una estructura de bloques analizando su contenido y reproduciéndolo desde otra perspectiva, esto marco el avance y uso de varios programas y cámaras. Los antecedentes históricos, avances más importantes de cada época y aplicaciones más importantes pueden consultarse en *Computer Vision. A Modern Approach* [6]

La visión artificial hace parte del campo de la inteligencia artificial que tiene como propósito generar un programa que por medio de procesamiento capte, identifique, interprete y reconozca características de las imágenes, segmentado, detectando y localizando ciertos objetos que brindan información especial y crucial para aprender y predecir acontecimientos. Algunos de los aspectos que abarca el estudio de la visión artificial son el reconocimiento de caracteres tipográficos, interpretación de imágenes, reconocimiento de objetos incluyendo análisis visual del movimiento. [7]

Las principales características de la visión artificial se listan de la siguiente manera:

- Analizan luz o color reflejado: Miden nivel de luz
- Detectan bordes y formas
- Analizan color
- Actúan sin contacto: No deforman el material
- Se puede analizar un objeto en movimiento
- Son automáticos: Alta velocidad de procesado
- Flexibles: basados en software
- Entorno informático

Sensores de para control visión artificial, cámaras y ópticas

El control a través de la visión tiene como elemento más crítico la iluminación ya que las cámaras captan la luz que es reflejada por los objetos, la luz se puede reflejar de forma distinta para diferentes elementos como la que se refleja por una esfera metálica en comparación con una hoja de papel. Se deben tener presente una serie de consideraciones como el color, la velocidad con

que se desplaza, el tipo de superficie que posee el objeto, su tipo de geometría , el fondo del entorno en el que se encuentra y las características que busca resaltar.

De acuerdo a la necesidad se debe determinar el tipo de cámara a utilizar: lineales, matriciales, en color o monocromáticas. También se determina el tipo de lente: teleobjetivos, gran angular o telecéntricas. La función de la cámara es capturar la imagen que se proyecta en el sensor.

- Cámaras lineales: existen para captura monocromática y de color funcionan bajo en concepto de barrido lineal haciendo la construcción de la imagen línea a línea mientras sigue al objeto en su desplazamiento, los sensores lineales que se pueden encontrar en estas cámara tienen entre 512 y 12.000 píxeles y con velocidades superiores a 200MHz
- Cámaras matriciales: son las que capturan imágenes con un sensor que cubre el área en forma de matriz de píxeles bien sea cuadrada o rectangular con x cantidad de píxeles en el eje horizontal y x cantidad en el eje vertical, los sensores utilizados son de tecnología CCD formados por diodos fotosensibles posicionados en forma precisa en una matriz.
- Cámaras a color: las cámaras a color capturan mayor información según la necesidad, estas se clasifican de acuerdo a su resolución estándar entrelazados, progresivos inferiores a 1 Megapíxel, Superior a 1 Megapíxel, superiores a 2 Megapíxeles , superiores a 4 Megapíxeles y superiores a 8 Megapíxeles.

De los anteriores para el criterio de búsqueda se establecen dos grupos de acuerdo al tipo de sensor (CCD o CMOS[8]) y otro alusivo al tipo de salida o conexión analógico, LVDS, CamelLink, FireWire, USB2 y GigeVision.

- Ópticas: se utilizan para transmitir la luz al sensor de la cámara para obtener la imagen enfocada de uno o varios elementos. La forma de determinar cuál debe ser la óptica a utilizar se debe tener en cuenta el tamaño del sensor, la distancia del objeto a la cámara y el campo de visión que se debe abarcar.
- Cámaras de alta resolución: son cámaras que capturan imágenes con alta resolución hasta de 22 Megapíxeles que entregan una máxima presión en la información entregada.
- Cámaras de alta velocidad: son las que capturan imágenes con altas velocidades entre 1.000 y 1.000.000 de imágenes por segundo, son utilizadas en múltiples aplicaciones industriales, científicas, militares y de aeronáutica.
- Cámaras alta sensibilidad: son aquellas que brindan un gran calidad de imagen con bajo nivel de iluminación para lo cual utilizan sensores especiales de alta sensibilidad. Son utilizadas en entornos científicos.

4. Metodología

Para conseguir el adecuado desarrollo del proyecto este se dividirá en fases donde se buscare filtrar cada uno de las etapas requeridas en busca de conseguir los objetivos planteados. Las fases por las que el proyecto pasara será la forma de demarcar los lineamientos de desarrollo y control para la ejecución progresiva de las tareas específicas que se determinaran consiguiéndose la validación de cada punto por fase. Las fases de proyecto serán:

Fase 1: conceptualización y especificación del proyecto.

En esta fase se pretende centralizar los lineamientos y herramientas a utilizar para la ejecución del proyecto a través de una búsqueda de información específica y característica sobre cada uno de los ítems o elementos necesarios.

Fase 2: Diseño de sistemas y elementos.

En esta fase se desarrollaran una serie de actividades que buscaran el diseño de los diferentes sistemas requeridos para el proyecto. En esta fase se iniciara el uso de las herramientas y elementos preestablecidos ejecutándose pruebas de cada sistema y elemento por separado y luego en conjunto en pequeña escala para la validación de cada uno, obteniendo las posibles fallas que se puedan presentar.

Fase 3: implementación de sistemas y elementos en conjunto.

Esta fase persigue como objetivo la ejecución e implementación de cada uno de los sistemas con todos los elementos requeridos para el proyecto en conjunto, en este punto se pondrá en marcha el proyecto validando cada uno de los requerimientos, para realizar las correcciones necesarias en cada sistema o elemento para finalmente conseguir la implementación completa del sistema.

Fase 4: Documentación y entrega del proyecto.

Esta fase se inicia con la puesta en marcha completamente validada del proyecto con cada uno de sus sistemas y elementos para proseguir con la realización de los documentos, fichas técnicas, procedimientos e instructivos para entrega del proyecto.

En cada una de las fases se realizara una etapa de planificación, revisión, evaluación de las actividades y los objetivos conseguidos y faltantes para el control y retroalimentación del estado del proyecto. También se realizara una documentación específica de cada proceso y paso desarrollado para mantener la continuidad y trazabilidad del proyecto.

A continuación se describen cada una de las actividades a realizar según la fase de proyecto:

4.1 Fase 1. Conceptualización y especificación del proyecto

1. Búsqueda preliminar de tipos de cámaras para el sistema de visión artificial identificando características, tipo de visión, costos y conectividad.
2. Identificación, especificación y determinación de parámetros y/o características de la cámara requerida de acuerdo a requerimientos del proyecto.

3. Búsqueda, selección y adquisición de cámara para el sistema de visión artificial según parámetros preestablecidos (tipo de visión, alcance, tipo de sensor, tipo de enfoque, tipo de conectividad y costo)
4. Selección de equipo computacional para control de cámara, instalación de sistema o software y puesta en funcionamiento de cámara.
5. Identificación y reconocimiento de las plataformas móviles, características, elementos comunes y sistemas que las conforman.
6. Búsqueda de tipos de elementos a caracterizar en las plataformas móviles.
7. Selección de posibilidades de caracterización a implementar para identificación de plataformas móviles.
8. Prueba y evaluación de tipos de caracterización preseleccionados para identificación de plataformas por medio de cámara.
9. Selección y especificación del tipo de caracterización de las plataformas móviles.
10. Búsqueda preliminar de sistemas computacionales de asistencia ingenieril (software), disponibles para el desarrollo de sistemas de control y algoritmos.
11. Selección de software aplicado para el diseño y desarrollo de los diferentes sistemas y algoritmos requeridos en el proyecto, se debe tener en cuenta la disponibilidad del software (gratis o con bajo costo de adquisición), la disponibilidad del mismo y el tipo de plataforma requerida para su uso.
12. Realización del documento de especificaciones primarias de acuerdo al trabajo desarrollado durante la fase.

4.2 Fase 2. Diseño de sistemas y elementos

1. Desarrollo de planificación de actividades para la fase.
2. Instalación y puesta en funcionamiento de cámara y sistema para visión en espacio destinado para trabajo y desarrollo del proyecto.
3. Validación de funcionamiento de cámara, conectividad y/o sistema de comunicación con ordenador.
4. Selección de una plataforma móvil para pruebas y puesta en funcionamiento preliminar de sistemas de reconocimiento y localización a través de visión artificial.
5. Diseño preliminar de sistema de reconocimiento de características para una sola plataforma móvil.
6. Pruebas y validación de sistema de reconocimiento y localización para 1 plataforma móvil.
7. Ajustes a programa y pruebas de ser necesario de programa para reconocimiento y localización de plataforma móvil.
8. Desarrollo y expansión de sistema de reconocimiento y localización para las 3 plataformas trabajando al mismo tiempo.
9. Pruebas y validación de sistema completo de reconocimiento y localización de plataformas.
10. Ajustes a programa y puesta en marcha de sistemas de reconocimiento y localización de todas las plataformas en espacio de trabajo controlado.
11. Diseño de algoritmo para la localización de una plataforma móvil.

12. Prueba de funcionamiento de algoritmo para una plataforma dentro de ambiente controlado.
13. Ajustes a diseño y pruebas de validación de algoritmo.
14. Diseño de algoritmo para localización e interacción de todas las plataformas dentro de ambiente controlado.
15. Pruebas de funcionamiento y validación de algoritmo para localización e interacción de todas las plataformas trabajando dentro del espacio controlado.
16. Evaluación y revisión de las tareas planificadas y alcance logrado para la fase.
17. Elaboración de documentos de control de cada elemento desarrollado.

4.3 Fase 3. Implementación de sistemas y elementos en conjunto

1. Desarrollo de planificación de actividades para la fase.
2. Desarrollo de listados de control y revisión para cada uno de los sistemas desarrollados.
3. Puesta en marcha de los distintos sistemas en conjunto.
4. Revisión del listado de control de cada uno de los sistemas desarrollados.
5. Determinación de elementos en conflicto o falla y posibles causas.
6. Desarrollo de ajustes para cada uno de los sistemas de acuerdo a lo preestablecido en control preliminar.
7. Puesta en funcionamiento de sistemas en conjunto con correcciones realizadas.
8. Definición de observaciones y retroalimentación de falas y ajustes a las mismas sobre sistemas desarrollados.
9. Puesta en marcha de sistemas en conjunto desarrollados para la localización e interacción de plataformas móviles por medio de visión artificial.
10. Evaluación y revisión de las tareas planificadas y alcance logrado para la fase.
11. Elaboración de documentos de control de cada elemento desarrollado.

4.4 Fase 4. Documentación y entrega del proyecto

1. Desarrollo de documentos técnicos, especificaciones e instructivos de uso para cada uno de los sistemas desarrollados.
2. Desarrollo de trabajo final sobre el proyecto elaborado.
3. Presentación del trabajo final conclusiones y resultados obtenidos.

5. Cronograma

- Ver anexo CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

6. Presupuesto

XX
 XX
 XX

Cálculo de costos de equipos:

Descripción	Cantidad	Unidad	Vr unitario	Vr Total
Plataforma Móvil	3	und	\$ 6.000.000	\$ 18.000.000
Cámara	1	und	\$ 1.400.000	\$ 1.400.000

Total Costos	\$ 19.400.000
---------------------	----------------------

Calculo de costos organizativos:

Descripción	Cant.	Tiempo	Unidad	Vr unitario	Vr Total
Coordinador del proyecto (15horas/semana a \$ 30.000 pesos por hora)	1	semana	25	\$ 450.000	\$ 11.250.000
Asesorías al proyecto (2horas/semana a \$ 65.000 pesos por hora)	1	semana	25	\$ 130.000	\$ 3.250.000
Alquiler de computador con paquete básico software (Costo mensual \$ 250.000 pesos)	2	mes	6	\$ 250.000	\$ 3.000.000
Mtto. licencia para diseño (Costo anual de \$6,000 USD - Costos mensual con TRM dólar \$1919 Pesos de \$ 959.500 Pesos)	1	mes	6	\$ 959.500	\$ 5.757.000
Arrendamiento Área de trabajo	Global	6	mes	\$ 400.000	\$ 2.400.000
Servicios (Estimado por un costo sobre el 15% de arrendamiento)	Global	6	mes	\$ 60.000	\$ 360.000
Papelería y útiles			Global	\$ 290.000	\$ 290.000

Total Costos	\$ 26.307.000
---------------------	----------------------

TOTAL COSTO DIRECTO		\$ 45.707.000
ADMINISTRACION	14%	\$ 6.398.980
IMPREVISTOS	3%	\$ 1.371.210
COSTO TOTAL		\$53.477.190

7. Bibliografía

- [1] M. Saska, T. Krajník, V. Vonásek, P. Vaněk, and L. Preucil, "Navigation, localization and stabilization of formations of unmanned aerial and ground vehicles," in *Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2013 International Conference on*, 2013, pp. 831-840.
- [2] H. Romero, S. Salazar, O. Santos, and R. Lozano, "Visual odometry for autonomous outdoor flight of a quadrotor UAV," in *Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2013 International Conference on*, 2013, pp. 678-684.
- [3] D. Lee, Y. Kim, and H. Bang, "Vision-based Terrain Referenced Navigation for Unmanned Aerial Vehicles using Homography Relationship," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 69, pp. 489-497, 2013/01/01 2013.
- [4] M. K. Hajjawi and A. Shirkhodaie, "Cooperative visual team working and target tracking of mobile robots," in *System Theory, 2002. Proceedings of the Thirty-Fourth Southeastern Symposium on*, 2002, pp. 376-380.
- [5] R. Siegwart and I. R. Nourbakhsh, *Introduction to Autonomous Mobile Robots*: Bradford Book, 2004.
- [6] D. A. Forsyth and J. Ponce, *Computer Vision: A Modern Approach*: Pearson Education, Limited, 2011.
- [7] R. G. Pino, Alberto; de Abajo, Nicolás, *Introducción a la ingeniería Artificial: Sistemas Expertos, Redes Neuronales Artificiales y Computación Evolutiva*, 2001.
- [8] G. C. Holst and T. S. Lomheim, *CMOS/CCD Sensors and Camera Systems*: JCD Publishing, 2011.

Contenido

1.	Planteamiento del problema	2
1.1	Estado del arte	2
	• Navigation, localization and stabilization of formations of unmanned aerial and ground vehicles UAV [1]	4
	• Visual Odometry for Autonomous Outdoor Flight of a Quadrotor UAV[2]	5
	• Vision-based Terrain Referenced Navigation for Unmanned Aerial Vehicles using Homography Relationship [3]	6
	• Cooperative visual team working and target tracking of mobile robots[4].....	7
1.2	Justificación	10
2.	Objetivos	12
2.1	Objetivo general.....	12
2.2	Objetivos específicos.....	12
3.	Marco Teórico	13
4.	Metodología	16
4.1	Fase 1. Conceptualización y especificación del proyecto	16
4.2	Fase 2. Diseño de sistemas y elementos	17
4.3	Fase 3. Implementación de sistemas y elementos en conjunto	18
4.4	Fase 4. Documentación y entrega del proyecto.....	18
5.	Cronograma.....	19
6.	Presupuesto	20
7.	Bibliografía	22

1. Planteamiento del problema

En la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas existe el grupo de investigación en Robótica Móvil Autónoma (ROMA) el cual se dedica a la preparación y formación a través de cursos para diferentes ramas como Tecnología Electrónica o ingeniería de control. También se dedica actividades de investigación enfocadas a la formación de investigadores, el desarrollo de proyectos de investigación y la transferencia de tecnología.

La tarea primordial que se debe realizar cuando ocurre cualquier tipo de desastre es la pronta búsqueda y rescate de víctimas siendo la vida de las personas el bien máspreciado de cualquier sociedad. Esta tarea resulta ser compleja según el entorno en que se presente por lo complejo que puede presentarse el terreno y entorno en el que se esté trabajando, ya que puede en la ejecución de la labor de rescate presentasen más víctimas por inestabilidad del terreno o estructuras lo que aumentaría el número de víctimas de la catástrofe ocurrida, teniendo lo anterior en consideración, el uso de robots para tareas de búsqueda se convierte en excelente herramienta ya que estos pueden tener acceso a terrenos peligrosos y de difícil acceso, incluyendo la capacidad de ampliar el espectro de búsqueda con el uso de diferentes herramientas o sensores de identificación específicos como cámaras térmicas, todo esto sin tener en cuenta el incomparable costo de inversión comparado con la posibilidad de perder una vida humana realizando labores de búsqueda.

El uso de visión artificial como herramienta para el control de robots es una alternativa que resulta atractiva por la facilidad que presenta a la hora de realizar reconocimiento de diferentes objetivos con distintas características de acuerdo a la necesidad específica. Tal es el caso actual que requiere se identifique y localicen varios vehículos al mismo tiempo en un entorno específico.

El proyecto que se encaminará al desarrollo del sistema de control de los UGVs transcurrirá entre los últimos meses del año en curso 2013 y comienzos del año próximo 2014.

De allí el planteamiento de la inquietud ¿es posible diseñar un sistema para la localización y control de mini vehículos terrestres no tripulados dedicados a la búsqueda de víctimas en tareas de rescate?

1.1 Estado del arte

En este documento se presenta inicialmente una serie de información relevante encontrada en la bibliografía disponible, dando una introducción del tema trabajado y posteriormente una descripción más precisa sobre el modo en el que se enfoca y desarrolla la investigación sobre los métodos y medios utilizados para el control basado en la visión de vehículos no tripulados (Unmanned Vehicle). Con el fin de obtener un panorama claro sobre las posibles soluciones que se han desarrollado en diversos lugares al problema del control de estos vehículos basado en la visión.

Durante los últimos años se ha podido apreciar un fuerte interés a nivel mundial desde la academia, la industrial privada y pública, los gobiernos a través de los entes estatales como el

sector militar, todos dirigidos hacia la investigación y desarrollo de tecnologías para el uso de vehículos no tripulados en distintos medios, aunque el principal desarrollo e impulso, como ha sucedido a lo largo de la historia, en el campo ha sido dominado por la industrial militar, se ha encontrado que un porcentaje significativo de las aplicaciones se está enfocando en ambientes civiles y de dominio público como la asistencia en situaciones de salvamento y rescate, protección de bosques con detección temprana de incendios o la mejora en la calidad de vida de las personas.

En el transcurso del tiempo en el desarrollo de los vehículos no tripulados se encuentran diferentes tipos de estos de acuerdo a las características, medios de uso, tamaño o características de diseño los principales se agrupan de la siguiente forma:

- Vehículos Aéreos No tripulados (*Unmanned Aerial Vehicle – UAVs*)
- Micro Vehículos Aéreos No tripulados (*Micro Aerial Vehicle Unnamed - MUVAs*)
- Vehículos Terrestres No tripulados (*Unmanned Ground Vehicle - UGV*)
- Micro Vehículos Terrestres No tripulados (*Micro Unmanned Ground Vehicle - MUGV*)

En La bibliografía disponible en los medios se encuentra gran variedad de información y grupos dedicados al avance de esta tecnología, la mayoría de estos enfocándose en los grupos de los Micro vehículos bien sea aéreos, terrestres o en conjunto por el bajo costo que en comparación se tiene con los vehículos no tripulados.

La asociación en los Estados Unidos **ICUAS** sin ánimo de lucro, dedicada a la organización de conferencias anuales para la publicación de las últimas actualizaciones en los avances del conocimiento desarrollado para *Sistemas No Tripulados* (*Unmanned Systems*) es patrocinada por diferentes organizaciones como la Universidad de Denver, la Sociedad de Sistema de Control IEEE (*IEEE Control Systems Society*), la Sociedad de Robótica y Automatización IEEE (*IEEE Robotics and*

Automation Society) y Asociación de Control del Mediterráneo (*Mediterranean Control Association - MCA*). En Mayo de 2013 llevo a cabo la *ICUAS 2013 : The 2013 International Conference on Unmanned Aircraft Systems* donde se presentaron múltiples desarrollos a nivel mundial, el sitio web de la IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=6552462> publica todos los artículos presentados en la conferencia.

Un elemento importante en el creciente interés y evolución de estos vehículos es el sistema de control desarrollado para éstos y los diferentes enfoques y métodos utilizados. El control basado a través de la visión es uno de los más prometedores y con mayor importancia, énfasis y relevancia en el que se están basando varias investigaciones, a continuación se presenta distintas publicaciones donde se muestran un resumen sobre el trabajo realizado los métodos desarrollados y las conclusiones obtenidas.

- **Navigation, localization and stabilization of formations of unmanned aerial and ground vehicles UAV [1]**

Resumen: la investigación se enfoca en el desarrollo de un sistema múltiple de vigilancia con el uso en conjunto de Vehículos Terrestres Autónomos (UGVs) y Micro Vehículos Aéreos Autónomos (MAVs) donde son utilizados en mayor cantidad para la tarea de vigilancia los UGVs. La ventaja presentada al implementar el uso de los MAVs es tener una visión desde la altura de obstáculos que no son percibidos por medio terrestre además de lograr cubrir espacios más amplios y de difícil acceso. Se busca tener una solución complementaria al emplear un sistema heterogéneo formado por ambos grupos de vehículos para el control y definición de trayectorias obteniendo una localización relativa precisa y confiable de cada miembro del grupo disminuyendo la probabilidad de colisiones entre ellos y los obstáculos presentados en el campo.

La solución propuesta es pensada los inconvenientes presentados en misiones de reconocimiento y vigilancia de los UGVs en entornos urbanos e interiores donde la precisión y fiabilidad ofrecida por los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) no es suficiente, debido a los puntos ciegos de visión que se presentan por la presencia de obstáculos donde se realizan las labores. El aporte que presenta la localización de los miembros de equipo desde una visión de altura se logra con el uso de pequeñas cámaras instaladas en el MAVs y el uso de patrones de identificación en los UGVs y el MAV, así se conseguirá la localización relativa visual de los robots. También se propone el uso de la técnica de navegación basada en visión en el medio ambiente llamado GeNav, el método consiste en la conducción de la formación generando trayectorias pre-aprendidas por características detectadas en imágenes obtenidas por una cámara monocular que se encuentra en un miembro líder en el equipo.

El método utilizado está basado en el modelo de control predictivo (MPC) buscando desenvolver las limitaciones impuestas: 1. relación de localización entre vehículos es decir la formación del grupo, 2. Problemas de movilidad en conjunto de los vehículos, 3. manejo de obstáculos presentes en el entorno y 4. Técnica de navegación de todo el grupo a través de una trayectoria definida por segmentos rectos. El MPC es utilizado por su utilidad en la estabilización de sistemas no lineales con restricciones de control generando una respuesta favorable a los cambios dinámicos presentados en el entorno, el equipo se utiliza para resolver el problema de localización desde una visión superior para lograr una formación estable involucrando a los UGVs y MAVs en conjunto o por separado.

El método se desarrolla para un grupo de robots que se encuentran en un área grande en busca de víctimas siguiendo una trayectoria determinada por un supervisor experto manteniendo una formación adecuada evitando obstáculos. Se emplea un robot líder en el grupo (UGVs o MAVs) llamado GeNav con el que se realiza la navegación basada en

detección de características de imágenes (Speeded Up Robust Features - SURF). El sistema es adecuado para la orientación de los vehículos a lo largo de una ruta, aunque no es suficiente en la coordinación total de los vehículos pues su precisión es de 20 cm. Para conseguir una mayor precisión se utilizan los MAVs dispuestos con cámaras para determinar la ubicación de todos los robots terrestres y un MAVs a mayor altura para tener control de los demás MAVs, el sistema proporciona un patrón de posición relativa entre los vehículos con cámara y el líder GeNav consiguiendo una mayor aproximación en la formación de los vehículos con una precisión alrededor de 1cm.

Conclusiones y resultados: Se construye un nuevo algoritmo presentado para la estabilización de la formación de robots con la técnica de robot líder GeNav basada en la visión desde un plano superior con los MAVs. Demuestran que el uso de sistemas sencillos basados en visión son adecuados para conseguir un control más preciso de equipos de no tripulados terrestres y aéreos en espacios abiertos sin estructuras pre-instaladas consiguiendo que se eviten los obstáculos encontrados manteniendo una formación segmentada que se adapta a la trayectoria generada.

- **Visual Odometry for Autonomous Outdoor Flight of a Quadrotor UAV[2]**

Resumen: el trabajo está orientado a la implementación y uso de un sensor de flujo óptico de dispuesto para estimar la velocidad de translación y posición de MAVs en espacios abiertos externos o cerrados internos sin la necesidad de utilizar la información proporcionada por un GPS que en muchas ocasiones por las condiciones físicas del entorno se bloquean o pierden la señal. Este sensor óptico es adecuado para el uso en mini y micro vehículos aéreos gracias a su pequeño tamaño y ligero peso, también se utiliza un controlador PD dedicado a sintonizar y compensar las mediciones adquiridas por el sensor de flujo óptico. El enfoque del sensor-controlador compuesto es la propuesta presentada como método para el control de un mini helicóptero con cuatro rotores.

El avance en la microelectrónica, Micro Electrónica Mecánica (MEMS), sensores, materiales compuestos y el aumento en la velocidad de procesamiento de datos y cálculos ha contribuido al creciente interés por el desarrollo de MAVs además de su bajo costo de fabricación y acceso comparado con los UAVs (Vehículos Aéreos No Tripulados), así se han desenvuelto en tareas civiles y académicas como la exploración de entornos peligrosos o contaminados, tareas de reconocimiento y asistencia forestal o el monitoreo de tráfico, dejando de ser únicamente recurso disponible y controlado por la industria militar por los altos costos de investigación que implicaban.

La propuesta se centra en el control de vuelo de un mini helicóptero MAVs en para conseguir un vuelo estacionario o desplazamiento referenciado con el suelo en espacios interiores o exteriores utilizando en la plataforma un sensor de flujo óptico ADNS-3080 con un lente adaptado para aumentar el rango de operación como alternativo o complemento en el uso de un GPS el cual no siempre está disponible o proporciona información errónea. Este complemento muestra una mejora significativa en la obtención de datos en el momento de determinar la velocidad y posición de vehículo en referencia al suelo. La plataforma del helicóptero está también equipada con un sensor de presión barométrica que cumple con la función de altímetro, el uso del control solido PD se centra en lograr vuelos estacionarios corrigiendo la información obtenida en la variables de la velocidad y posición del robot.

Con el ADNS-3080 sensor de flujo óptico Avago con un lente adaptado de 8 mm que incluye una cámara interna de baja resolución y un procesador de señal digital (DSP) logra tomar mediciones de translación, velocidad lineal y velocidad rotacional del MAV por medio de la imagen captada y su variación referencia con relación a las velocidades y posición en los 3 ejes X, Y y Z definiendo un marco de referencia inercial. El sensor proporciona mediciones a partir de la variación en las características de las imágenes en dos direcciones ΔX y ΔY , mientras que Δz se determina con el uso del sensor barométrico. El sensor determina la variación a través de la comparación en la secuencia de imágenes obtenidas con base en una superficie plana determinando el movimiento relativo entre en sensor y la superficie inicial establecida, estimación del flujo en generada por un algoritmo de corrección unidireccional.

Conclusiones y resultados: el método de control para el vehículo es el uso de un sistema robusto donde se estima la posición y velocidad por medio de un sensor de flujo óptico integrado con un sensor barométrico y un controlador solido PD que actúa como filtro de la señal obtenida por el sensor.

El uso del enfoque conceptual de la odometría visual propuesto con la medición del sensor de flujo óptico es una alternativa adecuada para conseguir la navegación autónoma de un MAVs en espacio libre exterior o interior cuando las señales entregadas por GPS no están disponibles o presentan información errónea, es importante que este desarrollo es sustentado en el uso de vehículos con carga útil limitada por su pequeño tamaño y ligero peso.

- **Vision-based Terrain Referenced Navigation for Unmanned Aerial Vehicles using Homography Relationship [3]**

Resumen: Se propone la utilización de un sistema de visión monocular instalado en un Vehículo Aéreo No tripulado UAVs con un algoritmo de descomposición homografía relacionando características básicas de la tierra para la estimar el desplazamiento. El uso de integración Bayesiana como filtro para un punto-masa de referencia usando como datos de entrada la traslación del UAVs combina la información obtenida por el sistema de visión y los datos de la altura medidos. Esto se condensa en el uso de un Sistema de Navegación con Referencia en el Terreno (TRN) basada en visión que reemplaza un Sistema de Navegación Inercial (INS) que a pesar tener un bajo costo no se obtiene gran precisión en los datos adquiridos junto con y los sistemas de posicionamiento global GPS que son utilizados para estimar la posición de vehículos.

El TRN usa la información sobre el terreno para determinar la posición de los vehículos, el algoritmo del TRN utiliza en conjunto la información de la Base de Datos de la Elevación Digital del Terreno (DTED) altímetro y el INS para estimar la posición del UAVs.

El proyecto se propone con un enfoque geométrico en la caracterización de los elementos distinguidos en las imágenes de la cámara monocular, éste sistema es conocido como homografía una vez se determinan las relaciones entre las características con base a una posición inercial. La estimación del movimiento a través de las imágenes se denomina odometría visual.

Conclusiones: Se propuso un Sistema de Navegación con Referencia en el Terreno TRN basada en visión con relaciones homograficas descompuestas y caracterizadas del terreno por una cámara monocular instalada en la plataforma de un UAVs que reemplaza la utilización de INS superando los errores presentados por el sistema calculando el movimiento de traslación.

Se determinó que la simulación numérica algoritmo propuesto en el TRN en conjunto con un radar altímetro y el sistema DTED proporciona datos suficientes para la navegación de un vehículo aéreo no tripulado sobre un terreno dado.

- **Cooperative visual team working and target tracking of mobile robots[4]**

Resumen: el trabajo aborda el problema de coordinar y hacer seguimiento de un grupo de robots semiautónomos por medio de un sistema visual en un ambiente no estructurado. La perspectiva se toma en dos formas, inicialmente se aborda el problema presentado una técnica basada en control visual para un robot que se dirige a un objetivo marcado, posteriormente se presenta un sistema de procesamiento del visual que utiliza imágenes de una cámara de vigilancia remota que localiza los robots dentro del entorno operativo en el que se encuentran.

El uso de robots en tareas militares de reconocimiento se ha presentado como una alternativa muy viable debido a la capacidad de poder cubrir una cantidad de terreno muy amplia con un número significativo de robots, desde ésta perspectiva se emprende el desarrollo del proyecto que busca conseguir por medio de un sistema de control visual en un ambiente no estructurado el reconocimiento de robots y control de los mismos que estén realizando una serie de tareas conjuntas o individuales, según sea el caso, y que continuamente este retroalimentado la posición entre los vehículos permitiéndose la organización de los mismos en formaciones que consigan la consecución de las tareas con mayor precisión y agilidad.

El objetivo es la obtención de un algoritmo que incorpore acciones de control de un grupo conformado por seis robots a escala semiautónomos, los robots están equipados con varios equipos y sensores a bordo como un sensor sonar, cámaras de video, brújula digital, datos inalámbricos para la transmisión de video y audio. El sistema de control remoto controla cada uno de los robots de acuerdo a la tareas específicas de cada uno, se utiliza la cámara de vigilancia remota para determinar la localización de cada uno de los robots con el procesamiento de las imágenes obtenidas, para la localización de cada robot con su objetivo y la ubicación de robot a robot se utiliza el control visual a través de las cámaras que se encuentran a bordo en cada vehículo.

La capacidad de navegación de un robot se puede delimitar desde cuatro competencias fundamentales: auto localización, planificación de ruta, construcción e interpretación de mapa y finalmente toma de decisiones inteligentes. Para el sistema de navegación es importante determinarse un punto referencia y reconocer las características interesantes del entorno, éste punto de referencia debe cumplir con ciertos requerimientos como el hecho de ser visible desde varias perspectivas, desde cualquier punto bien sea estático o en movimiento y que sea reconocible en diferentes condiciones de iluminación, ángulos de visión, etc. además de esto debe tener la capacidad de reconocer sus propios puntos de referencia. Las técnicas utilizadas para la conseguir el control de los puntos de referencia es el uso de características previamente establecidas como longitudes de línea, relación de longitud y anchura, color, textura o relaciones únicas de geometrías. En el sistema desarrollado para conseguir el objetivo se utiliza la técnica llamada Landmark Feature empleando cuatro robots para la búsqueda y localización al azar en un lugar preestablecido utilizando el reconocimiento por relación de longitud-anchura y su contraste de color.

Se utilizan cuatro robots en un laboratorio no estructurado en el que se dispone una lata de coca cola como marca o punto de interés, los vehículos están provistos con una cámara y un sistema de audio/video. La imagen que es capturada por los robots individuales se procesa y mejora en 5 pasos:

1. Estabilización de la imagen balanceando el contraste del color.
2. Enfoca la imagen aplicando un filtro medio de 3x3.
3. Dividir la imagen en una retícula de celdas de 20x20.
4. Tomar el promedio inverso de la intensidad de los píxeles por cada celda.
5. Colocar una ventana sobre las celdas que producen una gran magnitud de intensidad inversa.

Una vez se ha reconocido la marca del punto de referencia se determina la posición del mismo con el robot, esto se realiza en dos pasos primero se procede determinar la posición de referencia en la imagen para conseguir centrarla en el marco con esto se consigue la direccionar al robot hacia el objetivo, luego se determina un camino medido entre el robot y la marca. Los robots utilizan una cámara económica de difícil calibración que presentan imágenes de baja calidad con mucho ruido. Se utilizan un transmisor inalámbrico de video de 900MHz con un capturado de imágenes PCMCIA que consigue 4 imágenes por segundo de 320x240 píxeles.

El inconveniente de localización de los robots en trabajo cooperativo se ataca con el uso de imágenes tomadas por una cámara de vigilancia externa dentro de un entorno operativo. El sistema utiliza la información asociada para planificar dinámicamente las tareas de los robots.

El objetivo principal de los robots en trabajo cooperativo es la localización de objeto de referencia una vez uno de los robots identifica el objeto informa a los restantes para que todos se aproximen al objeto a una distancia alrededor de 0.5m, cuando esto sucede el robot inicial procede a tomar el objeto con la pinza provista, cuando esto acontece la cámara a bordo de éste robot pierde el enfoque de la lata por lo que el sistema cooperativo de los robots utiliza la información de capturada por las cámara de los demás robots para conseguir la tarea.

En la identificación de los robots dentro del entorno se presentaron complicaciones debido al sistema de vigilancia remoto que se utiliza, donde se genera la obstaculización entre los robots, los objetos y elementos del entorno con esto las imágenes capturadas resultan ser distorsionada cerca a los bordes del marco de la imagen. Para evitar el problema se procedió a la eliminación de los contenidos fronterizos de la imagen por medio de un filtro especial circular manteniendo el centro de la imagen para el análisis.

Para la localización de los robots es necesario aislar a cada uno y verificar la imagen para garantizar que se encuentra el robot representado, para ello se digitaliza la imagen y se toma la varianza, a continuación se realiza la digitalización binaria 2x2 de la imagen para obtener las características de la misma que serán comparadas con la plantilla binaria dispuesta.

Debido a que los robots poseen texturas, formas y características complejas, se determina el Cluster central encontrado en la imagen perteneciente a la plantilla que corresponderá

a la ubicación central del robot lo que se comprueba delimitado la imagen y determinado que concuerda con las características propias del robot.

Para encontrar el Cluster central en las características de la imagen se propone dividir la imagen en una retícula de 20x20 contando el número de características coincidentes que aparecen y a continuación un centro de operaciones realiza la búsqueda para determinar la ubicación del Cluster central que cumple con el umbral en el conglomerado.

Tras la ubicación de del Cluster central se dispone una ventana alrededor de cada uno de los centros aplicando una técnica de detección de bordes para determinar que las características cumple con las designadas para corroborar que sea o no un robot. Para determinar las tareas y trayectorias de los robots se utiliza un sistema de control y supervisión mediante un software FMCell que ofrece un entorno integrado para el desarrollo de aplicaciones en robótica. El sistema mantiene actualizado la ubicación de los robots manteniendo el punto de referencia de cada uno reduciendo el error de localización.

Conclusiones: Se describen los algoritmos para el seguimiento y control visual de un objetivo con relación a su ubicación realizando trabajos cooperativos en un entorno no estructurado.

Para la localización estimada de los robots se desarrolló un sistema de control y supervisión mediante una cámara de vigilancia remota que realiza el seguimiento individual de los robots.

Los algoritmos propuestos fueron puestos en marcha en un laboratorio consiguiéndose resultados prometedores.

1.2 Justificación

El desarrollo del proyecto de un sistema de control basado en visión resulta una solución eficiente al problema existente dirigido al control de los vehículos terrestres no tripulados adaptado a las condiciones de aplicación requeridas como es el caso para el proyecto ROMABOT. Conseguir la implementación del sistema dará un avance significativo para la adquisición de conocimiento a nivel tecnológico que dará pautas y será la base para el desarrollo de nuevos proyectos con enfoques similares.

El estado del arte muestra la existencia de diferentes métodos basados en la visión para conseguir el control de vehículos no tripulados desarrollados con diversos enfoques como el reconocimiento de espacios a través de imágenes para la navegación del vehículo. Estos sistemas se desarrollaron aplicados a diferentes condiciones de acuerdo a la necesidad para cada caso y el impacto generado sobre el proyecto en conjunto de ahí la importancia de lograr el desarrollo de un sistema de control conducido al problema planteado.

Los desarrollos que se han encontrado muestran la capacidad de control obtenida desde un sistema basado visión con una cámara a bordo de un vehículo bien sea terrestre o aéreo que consigue resultados efectivos suministrando la información adecuada y específica necesaria para el procesamiento y posterior ejecución de órdenes hacia los vehículos. Como principio estos sistemas están diseñados hacia la determinación de la localización del vehículo dentro del entorno dado en el que se encuentran. Se realiza el reconocimiento de patrones y asociación de los mismos entre sí, mientras se presenta el desplazamiento del vehículo en tiempo real. Así se realiza la comparación entre los patrones asociados y se obtiene la localización del vehículo. Teniendo éste precedente, el desarrollo del proyecto del sistema de control de los vehículos basado en visión utilizando una cámara ubicada en un punto fijo a una altura determinada para la localización en conjunto de varios vehículos terrestres no tripulados resulta atractivo pues con éste se conseguiría generar un parámetro de desplazamiento evitando las colisiones entre los vehículos o los obstáculos del entorno.

Un factor significativo para el desarrollo del proyecto que se pretende desarrollar es comprender que los distintos avances que se han generado en la rama y que están directamente implicados con el proyecto en desarrollo ROMABOT es que éstos han sido desarrollados por instituciones académicas y no se encuentran disponibles como un producto que pueda adaptarse a la necesidad presentada, debido a esto lograr desarrollar el sistema de control orientado a la manipulación de los UGVs es una de las razones más llamativas que trae consigo la presente propuesta. Además es importante entender que este desarrollo se realizará con los elementos, materiales y componentes disponibles en el mercado nacional de fácil acceso y con bajos costos, entendiendo que los costos y labores que implica la compra de materiales en el exterior resultan engorrosos y podría hacerse inviable.

Finalmente el proyecto se convertirá en una herramienta que será el inicio en la búsqueda por desplegar nuevas formas de control a distintos problemas que se presenten para proyectos de enfoque similar.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un algoritmo para la localización e interacción entre tres plataformas móviles terrestres, a través de un sistema de visión artificial para un ambiente controlado.

2.2 Objetivos específicos

1. Determinar el sistema de visión artificial
2. Determinar las características de visualización para cada una de las plataformas móviles.
3. Diseño de sistema de reconocimiento de características.
4. Implementación del sistema de reconocimiento
5. Diseño del sistema de localización global de cada una de las plataformas dentro del ambiente controlado.
6. Diseño del algoritmo de localización e interrelación de robots.
7. Implementación total del sistema para la localización e interacción de las plataformas móviles.

3. Marco Teórico

Un sistema de control puede estar dirigido a organismos vivos, maquinas eléctricas o mecánicas, organizaciones, etc. busca regular las conductas del mismo o las de otro sistema a través de componentes que logren la reducción en la probabilidad de fallos manteniéndose estables, controlando perturbaciones y errores de los modelos, también busca la consecución de resultados eficientes que evite el comportamiento erróneo del sistema según los parámetros previamente establecidos.

Uno de los principales sistemas que se abordan en el desarrollo de proyectos enfocados en los vehículos no tripulados es el dirigido al control de los mismos, para lo cual se encuentra el uso de diferentes tipos de sensores que proporcionen información determinada, específica y especial como sensores de proximidad, temperatura, altitud, posición, desplazamiento, velocidad, fuerza, caudal, luz, de presencia, proximidad, visión artificial, etc. que proporcionan información a través de transformación y procesamiento de señales de tipo analógica, digital, mixtas analógico/digital y procesamiento digital este último proporcionado por la visión artificial,

En el caso específico de los sistemas de control basados en la visión artificial es posible encontrar múltiples métodos y enfoques utilizados para el procesamiento de la información digital que es proporcionada. Éste sistema utilizado en varios de los recientes proyectos desarrollados resulta ser una solución innovadora, eficiente y con gran proyección además de potencial, debido a la capacidad de adaptarse a cualquier medio indiferente a su forma de uso o aplicación proporcionando gran cantidad de información que depende al método diseñado o aplicado consigue que el sistema de control cumpla con las necesidades requeridas para la aplicación del proyecto dado.

Vehículos autónomos no tripulados

Se puede considerar autónomo a cualquier vehículo con cierto nivel de autonomía para realizar trabajos definidos en espacios determinados sin encontrarse tripulados por personas que lo controlen, los vehículos autónomos no tripulados se pueden clasificar de acuerdo al medio en el que se desempeñen:

- Vehículo aéreo no tripulado (UAV - Unmanned Aerial Vehicle)
- Vehículo terrestre no tripulado (UGV - Unmanned Ground Vehicle)
- Vehículo marino no tripulado (UMV - Unmanned Aerial Vehicle)

Actualmente la investigación y desarrollo de vehículos autónomos no tripulados se ha convertido en una de las ramas de preferencia con gran difusión por la academia, los gobiernos, la industria pública y privada debido al amplio panorama de aplicación que se presenta sin importar el sector desde el cual se esté evaluando. El desarrollo que se ha presentado como muchos de los avances tecnológicos tuvo como pionero a la industria militar debido al alto costo que involucraba el uso

de las diferentes herramientas, componentes, materiales y recursos en general. Hoy en día gracias a los avances tecnológicos, la rápida y eficiente difusión de información y comunicación entre otros ha abierto la puerta a otras organizaciones que se involucran al proceso de investigación enfocado en estos vehículos para fines civiles, de ahí que hoy en día pueda encontrarse en los medio noticias sobre vehículos no tripulados bien sean aéreos, terrestres o marinos.

Las principales características de los robots y/o vehículos autónomos no tripulados como el sistema locomotriz, los sistemas de localización y cognición para navegación se pueden consultar en el libro *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. [5]

Visión artificial

Se puede determinar como principio de la visión artificial el año 1961 cuando Larry Roberts creo un programa que conseguía ver a través de una cámara una estructura de bloques analizando su contenido y reproduciéndolo desde otra perspectiva, esto marco el avance y uso de varios programas y cámaras. Los antecedentes históricos, avances más importantes de cada época y aplicaciones más importantes pueden consultarse en *Computer Vision. A Modern Approach* [6]

La visión artificial hace parte del campo de la inteligencia artificial que tiene como propósito generar un programa que por medio de procesamiento capte, identifique, interprete y reconozca características de las imágenes, segmentado, detectando y localizando ciertos objetos que brindan información especial y crucial para aprender y predecir acontecimientos. Algunos de los aspectos que abarca el estudio de la visión artificial son el reconocimiento de caracteres tipográficos, interpretación de imágenes, reconocimiento de objetos incluyendo análisis visual del movimiento. [7]

Las principales características de la visión artificial se listan de la siguiente manera:

- Analizan luz o color reflejado: Miden nivel de luz
- Detectan bordes y formas
- Analizan color
- Actúan sin contacto: No deforman el material
- Se puede analizar un objeto en movimiento
- Son automáticos: Alta velocidad de procesado
- Flexibles: basados en software
- Entorno informático

Sensores de para control visión artificial, cámaras y ópticas

El control a través de la visión tiene como elemento más crítico la iluminación ya que las cámaras captan la luz que es reflejada por los objetos, la luz se puede reflejar de forma distinta para diferentes elementos como la que se refleja por una esfera metálica en comparación con una hoja de papel. Se deben tener presente una serie de consideraciones como el color, la velocidad con

que se desplaza, el tipo de superficie que posee el objeto, su tipo de geometría , el fondo del entorno en el que se encuentra y las características que busca resaltar.

De acuerdo a la necesidad se debe determinar el tipo de cámara a utilizar: lineales, matriciales, en color o monocromáticas. También se determina el tipo de lente: teleobjetivos, gran angular o telecéntricas. La función de la cámara es capturar la imagen que se proyecta en el sensor.

- Cámaras lineales: existen para captura monocromática y de color funcionan bajo en concepto de barrido lineal haciendo la construcción de la imagen línea a línea mientras sigue al objeto en su desplazamiento, los sensores lineales que se pueden encontrar en estas cámara tienen entre 512 y 12.000 píxeles y con velocidades superiores a 200MHz
- Cámaras matriciales: son las que capturan imágenes con un sensor que cubre el área en forma de matriz de píxeles bien sea cuadrada o rectangular con x cantidad de píxeles en el eje horizontal y x cantidad en el eje vertical, los sensores utilizados son de tecnología CCD formados por diodos fotosensibles posicionados en forma precisa en una matriz.
- Cámaras a color: las cámaras a color capturan mayor información según la necesidad, estas se clasifican de acuerdo a su resolución estándar entrelazados, progresivos inferiores a 1 Megapíxel, Superior a 1 Megapíxel, superiores a 2 Megapíxeles , superiores a 4 Megapíxeles y superiores a 8 Megapíxeles.

De los anteriores para el criterio de búsqueda se establecen dos grupos de acuerdo al tipo de sensor (CCD o CMOS[8]) y otro alusivo al tipo de salida o conexión analógico, LVDS, CameraLink, FireWire, USB2 y GigeVision.

- Ópticas: se utilizan para transmitir la luz al sensor de la cámara para obtener la imagen enfocada de uno o varios elementos. La forma de determinar cuál debe ser la óptica a utilizar se debe tener en cuenta el tamaño del sensor, la distancia del objeto a la cámara y el campo de visión que se debe abarcar.
- Cámaras de alta resolución: son cámaras que capturan imágenes con alta resolución hasta de 22 Megapíxeles que entregan una máxima presión en la información entregada.
- Cámaras de alta velocidad: son las que capturan imágenes con altas velocidades entre 1.000 y 1.000.000 de imágenes por segundo, son utilizadas en múltiples aplicaciones industriales, científicas, militares y de aeronáutica.
- Cámaras alta sensibilidad: son aquellas que brindan un gran calidad de imagen con bajo nivel de iluminación para lo cual utilizan sensores especiales de alta sensibilidad. Son utilizadas en entornos científicos.

4. Metodología

Para conseguir el adecuado desarrollo del proyecto este se dividirá en fases donde se buscare filtrar cada uno de las etapas requeridas en busca de conseguir los objetivos planteados. Las fases por las que el proyecto pasara será la forma de demarcar los lineamientos de desarrollo y control para la ejecución progresiva de las tareas específicas que se determinaran consiguiéndose la validación de cada punto por fase. Las fases de proyecto serán:

Fase 1: conceptualización y especificación del proyecto.

En esta fase se pretende centralizar los lineamientos y herramientas a utilizar para la ejecución del proyecto a través de una búsqueda de información específica y característica sobre cada uno de los ítems o elementos necesarios.

Fase 2: Diseño de sistemas y elementos.

En esta fase se desarrollaran una serie de actividades que buscaran el diseño de los diferentes sistemas requeridos para el proyecto. En esta fase se iniciara el uso de las herramientas y elementos preestablecidos ejecutándose pruebas de cada sistema y elemento por separado y luego en conjunto en pequeña escala para la validación de cada uno, obteniendo las posibles fallas que se puedan presentar.

Fase 3: implementación de sistemas y elementos en conjunto.

Esta fase persigue como objetivo la ejecución e implementación de cada uno de los sistemas con todos los elementos requeridos para el proyecto en conjunto, en este punto se pondrá en marcha el proyecto validando cada uno de los requerimientos, para realizar las correcciones necesarias en cada sistema o elemento para finalmente conseguir la implementación completa del sistema.

Fase 4: Documentación y entrega del proyecto.

Esta fase se inicia con la puesta en marcha completamente validada del proyecto con cada uno de sus sistemas y elementos para proseguir con la realización de los documentos, fichas técnicas, procedimientos e instructivos para entrega del proyecto.

En cada una de las fases se realizara una etapa de planificación, revisión, evaluación de las actividades y los objetivos conseguidos y faltantes para el control y retroalimentación del estado del proyecto. También se realizara una documentación específica de cada proceso y paso desarrollado para mantener la continuidad y trazabilidad del proyecto.

A continuación se describen cada una de las actividades a realizar según la fase de proyecto:

4.1 Fase 1. Conceptualización y especificación del proyecto

1. Búsqueda preliminar de tipos de cámaras para el sistema de visión artificial identificando características, tipo de visión, costos y conectividad.
2. Identificación, especificación y determinación de parámetros y/o características de la cámara requerida de acuerdo a requerimientos del proyecto.

3. Búsqueda, selección y adquisición de cámara para el sistema de visión artificial según parámetros preestablecidos (tipo de visión, alcance, tipo de sensor, tipo de enfoque, tipo de conectividad y costo)
4. Selección de equipo computacional para control de cámara, instalación de sistema o software y puesta en funcionamiento de cámara.
5. Identificación y reconocimiento de las plataformas móviles, características, elementos comunes y sistemas que las conforman.
6. Búsqueda de tipos de elementos a caracterizar en las plataformas móviles.
7. Selección de posibilidades de caracterización a implementar para identificación de plataformas móviles.
8. Prueba y evaluación de tipos de caracterización preseleccionados para identificación de plataformas por medio de cámara.
9. Selección y especificación del tipo de caracterización de las plataformas móviles.
10. Búsqueda preliminar de sistemas computacionales de asistencia ingenieril (software), disponibles para el desarrollo de sistemas de control y algoritmos.
11. Selección de software aplicado para el diseño y desarrollo de los diferentes sistemas y algoritmos requeridos en el proyecto, se debe tener en cuenta la disponibilidad del software (gratis o con bajo costo de adquisición), la disponibilidad del mismo y el tipo de plataforma requerida para su uso.
12. Realización del documento de especificaciones primarias de acuerdo al trabajo desarrollado durante la fase.

4.2 Fase 2. Diseño de sistemas y elementos

1. Desarrollo de planificación de actividades para la fase.
2. Instalación y puesta en funcionamiento de cámara y sistema para visión en espacio destinado para trabajo y desarrollo del proyecto.
3. Validación de funcionamiento de cámara, conectividad y/o sistema de comunicación con ordenador.
4. Selección de una plataforma móvil para pruebas y puesta en funcionamiento preliminar de sistemas de reconocimiento y localización a través de visión artificial.
5. Diseño preliminar de sistema de reconocimiento de características para una sola plataforma móvil.
6. Pruebas y validación de sistema de reconocimiento y localización para 1 plataforma móvil.
7. Ajustes a programa y pruebas de ser necesario de programa para reconocimiento y localización de plataforma móvil.
8. Desarrollo y expansión de sistema de reconocimiento y localización para las 3 plataformas trabajando al mismo tiempo.
9. Pruebas y validación de sistema completo de reconocimiento y localización de plataformas.
10. Ajustes a programa y puesta en marcha de sistemas de reconocimiento y localización de todas las plataformas en espacio de trabajo controlado.
11. Diseño de algoritmo para la localización de una plataforma móvil.

12. Prueba de funcionamiento de algoritmo para una plataforma dentro de ambiente controlado.
13. Ajustes a diseño y pruebas de validación de algoritmo.
14. Diseño de algoritmo para localización e interacción de todas las plataformas dentro de ambiente controlado.
15. Pruebas de funcionamiento y validación de algoritmo para localización e interacción de todas las plataformas trabajando dentro del espacio controlado.
16. Evaluación y revisión de las tareas planificadas y alcance logrado para la fase.
17. Elaboración de documentos de control de cada elemento desarrollado.

4.3 Fase 3. Implementación de sistemas y elementos en conjunto

1. Desarrollo de planificación de actividades para la fase.
2. Desarrollo de listados de control y revisión para cada uno de los sistemas desarrollados.
3. Puesta en marcha de los distintos sistemas en conjunto.
4. Revisión del listado de control de cada uno de los sistemas desarrollados.
5. Determinación de elementos en conflicto o falla y posibles causas.
6. Desarrollo de ajustes para cada uno de los sistemas de acuerdo a lo preestablecido en control preliminar.
7. Puesta en funcionamiento de sistemas en conjunto con correcciones realizadas.
8. Definición de observaciones y retroalimentación de falas y ajustes a las mismas sobre sistemas desarrollados.
9. Puesta en marcha de sistemas en conjunto desarrollados para la localización e interacción de plataformas móviles por medio de visión artificial.
10. Evaluación y revisión de las tareas planificadas y alcance logrado para la fase.
11. Elaboración de documentos de control de cada elemento desarrollado.

4.4 Fase 4. Documentación y entrega del proyecto

1. Desarrollo de documentos técnicos, especificaciones e instructivos de uso para cada uno de los sistemas desarrollados.
2. Desarrollo de trabajo final sobre el proyecto elaborado.
3. Presentación del trabajo final conclusiones y resultados obtenidos.

5. Cronograma

- Ver anexo CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

6. Presupuesto

El proyecto al ser desarrollado con el grupo de investigación ROMABOT y DISING se presupuesta con los recursos disponibles y asignados por la universidad, a continuación se calcula el presupuesto total requerido para el desarrollo del proyecto.

Cálculo de costos de equipos:

Descripción	Cantidad	Unidad	Vr unitario	Vr Total
Plataforma Móvil	3	und	\$ 6.000.000	\$ 18.000.000
Cámara	1	und	\$ 1.400.000	\$ 1.400.000

Total Costos	\$ 19.400.000			
---------------------	----------------------	--	--	--

Calculo de costos organizativos:

Descripción	Cant.	Tiempo	Unidad	Vr unitario	Vr Total
Coordinador del proyecto (15horas/semana a \$ 30.000 pesos por hora)	1	semana	25	\$ 450.000	\$ 11.250.000
Asesorías al proyecto (2horas/semana a \$ 65.000 pesos por hora)	1	semana	25	\$ 130.000	\$ 3.250.000
Alquiler de computador con paquete básico software (Costo mensual \$ 250.000 pesos)	2	mes	6	\$ 250.000	\$ 3.000.000
Mtto. licencia para diseño (Costo anual de \$6,000 USD - Costos mensual con TRM dólar \$1919 Pesos de \$ 959.500 Pesos)	1	mes	6	\$ 959.500	\$ 5.757.000
Arrendamiento Área de trabajo	Global	6	mes	\$ 400.000	\$ 2.400.000
Servicios (Estimado por un costo sobre el 15% de arrendamiento)	Global	6	mes	\$ 60.000	\$ 360.000
Papelería y útiles			Global	\$ 290.000	\$ 290.000

Total Costos	\$ 26.307.000
---------------------	----------------------

TOTAL COSTO DIRECTO		\$ 45.707.000
ADMINISTRACION	14%	\$ 6.398.980
IMPREVISTOS	3%	\$ 1.371.210
COSTO TOTAL		\$53.477.190

7. Bibliografía

- [1] M. Saska, T. Krajník, V. Vonásek, P. Vaněk, and L. Preucil, "Navigation, localization and stabilization of formations of unmanned aerial and ground vehicles," in *Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2013 International Conference on*, 2013, pp. 831-840.
- [2] H. Romero, S. Salazar, O. Santos, and R. Lozano, "Visual odometry for autonomous outdoor flight of a quadrotor UAV," in *Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2013 International Conference on*, 2013, pp. 678-684.
- [3] D. Lee, Y. Kim, and H. Bang, "Vision-based Terrain Referenced Navigation for Unmanned Aerial Vehicles using Homography Relationship," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 69, pp. 489-497, 2013/01/01 2013.
- [4] M. K. Hajjawi and A. Shirkhodaie, "Cooperative visual team working and target tracking of mobile robots," in *System Theory, 2002. Proceedings of the Thirty-Fourth Southeastern Symposium on*, 2002, pp. 376-380.
- [5] R. Siegwart and I. R. Nourbakhsh, *Introduction to Autonomous Mobile Robots*: Bradford Book, 2004.
- [6] D. A. Forsyth and J. Ponce, *Computer Vision: A Modern Approach*: Pearson Education, Limited, 2011.
- [7] R. G. Pino, Alberto; de Abajo, Nicolás, *Introducción a la ingeniería Artificial: Sistemas Expertos, Redes Neuronales Artificiales y Computación Evolutiva*, 2001.
- [8] G. C. Holst and T. S. Lomheim, *CMOS/CCD Sensors and Camera Systems*: JCD Publishing, 2011.

