

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA DE SISTEMAS

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
Ingenieros de Sistemas

TEMA:
ESTUDIO TÉCNICO DEL ESTADO DEL ARTE SOBRE EL
PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES DE 360 GRADOS ORIENTADO
A LA NAVEGACIÓN DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (DRONES)

AUTORES:
PABLO DAVID PILLAJO ANALUISA
BRYAN LEONEL ZAPATA RUIZ

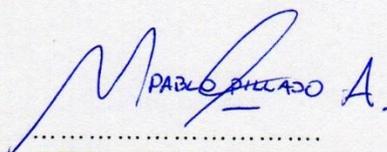
TUTOR:
JULIO RICARDO PROAÑO ORELLANA

Quito, febrero de 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Pillajo Analuisa Pablo David y Zapata Ruiz Bryan Leonel, con documento de identificación N° 1722068119, y 1724515539, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación con el tema: “ESTUDIO TÉCNICO DEL ESTADO DEL ARTE SOBRE EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES DE 360 GRADOS ORIENTADO A LA NAVEGACIÓN DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (DRONES).”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO DE SISTEMAS, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....

**PILLAJO ANALUISA
PABLO DAVID**
CI:1722068119



.....

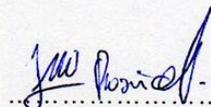
**ZAPATA RUIZ
BRYAN LEONEL**
CI: 1724515539

Quito, febrero del 2019

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo Académico, con el tema: **“ESTUDIO TÉCNICO DEL ESTADO DEL ARTE SOBRE EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES DE 360 GRADOS ORIENTADO A LA NAVEGACIÓN DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (DRONES).”**, realizado por Zapara Ruiz Bryan Leonel con C.I. 1724515539 y Pillajo Analuisa Pablo David con C.I.1722068119, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2019



.....

Julio Ricardo Proaño Orellana

CI: 0103909412

ESTUDIO TÉCNICO DEL ESTADO DEL ARTE SOBRE EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES DE 360 GRADOS ORIENTADO A LA NAVEGACIÓN DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (DRONES)

Pablo David Pillajo Analuisa, Bryan Leonel Zapata Ruiz, Julio Ricardo Proaño Orellana
Departamento de Ciencia y Tecnología, Universidad Politécnica Salesiana Ecuador
Quito, Ecuador

Email: bzapatar@est.ups.edu.ec

Email: ppillajoa@est.ups.edu.ec

Email: jproanoo@ups.edu.ec

Abstract — The purpose of this document is the technical study of publications, the latest techniques, techniques and digital image processing algorithms of 360 ° oriented to the navigation of drone. These publications are classified according to the Systematic Mapping methodology (SMS). To this end, research questions related to the subject in question have been defined. The consulted databases were: Scopus, ScienceDirect, IEEE, Google Scholar. The results of this study show tendencies to 2 techniques and 4 algorithms. For the case of Kalman Filter Algorithms, SIFT, SURF and convolutional neural networks. For SLAM and sonar vision techniques. Finally, a discussion of them is made.

Key words — Study of systematic Mapping SMS, vision algorithms, UAV.

Resumen — El propósito de este documento es presentar un estudio técnico de publicaciones en las dos últimas décadas, sobre técnicas y algoritmos de procesamiento digital de imágenes de 360° orientadas a la navegación de Drones. Estas publicaciones se clasificaron según la metodología de Mapeo Sistemático (SMS). Para ello se han definido preguntas de investigación relacionadas con el tema en cuestión. Las bases de datos consultadas fueron: Scopus, ScienceDirect, IEEE, Google Scholar. Los resultados de este estudio muestran tendencias a 2 técnicas y 4 algoritmos que son los más utilizados. Para el caso de Algoritmos Filtro de Kalman, SIFT, SURF y redes neuronales convolucionales. Para técnicas SLAM y visión por sonar. Finalmente, se realiza una discusión de los mismos.

Palabras clave — Estudio de mapeo sistemático SMS, algoritmos de visión, vehículo aéreo no tripulado (UAV).

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad dentro del campo de procesamiento de imágenes digitales se han

realizado un sin número de investigaciones dando como resultado una gran cantidad de algoritmos y tecnologías. Estas son usadas en UAV para la navegación [1]. Sin embargo, según [2] existen muy pocos trabajos técnicos que nos ayuden a identificar cuáles son los algoritmos y tecnologías más utilizados para la navegación de UAV.

Este trabajo busca realizar un esquema conceptual actualizado de los técnicas y algoritmos que se utilizan para el procesamiento de imágenes 360° orientado a la navegación de UAV, también saber mecanismos para obtener las imágenes de 360° utilizando cámaras.

Este trabajo se encuentra organizado de la siguiente manera en la sección II se muestra una descripción de lo que es el estudio de mapeo sistemático SMS y conceptos relacionados con muestra investigación, a partir de la sección III indica el procedimiento que utilizamos para búsqueda, exclusión, filtración y clasificación de los artículos relevantes en la sección IV se muestra diagramas de barras y de burbuja y los resultados obtenidos. En esta investigación también se muestra una discusión sobre temas referentes al poder de procesamiento y energético. En la sección V se realizan las conclusiones de esta investigación.

II. MARCO TEÓRICO

A. Estudios de mapeo sistemático

Para realizar esta investigación utilizamos un estudio de mapeo sistemático (SMS). Este es un método que tiene como objetivo construir un esquema de clasificación y estructurar un campo de interés en varios campos de ingeniería como software, electrónica, mecatrónica entre otras. Así, SMS nos permita hallar, evaluar y adjuntar todos los

documentos científicos de mayor importancia de una forma organizada. Por otro lado, este método realiza un análisis de los resultados que se basa en las frecuencias de publicaciones por categorías [3].

Una vez obtenidos dichos resultados estos ayudan a responder una pregunta de investigación principal y preguntas de investigación secundarias específicas. La Figura 1 muestra el proceso que se sigue para realizar el mapeo sistemático y poder desarrollar esta investigación. A continuación, se describen brevemente cada una de las etapas.



Figura 1 proceso de mapeo sistemático (SMS).

Etap 1: Definición de preguntas de investigación, en esta etapa se define bajo la formulación de preguntas de investigación qué se desea obtener y qué motiva esta investigación, características, atributos o resultados después de realizar una investigación a fondo.

Etap 2: Ejecución de la búsqueda, se continúa el proceso realizando una cadena de búsqueda estableciendo los motores de búsqueda. Estos pueden ser Scopus, Science Direct, IEEE o Google scholar los cuales tienen una gran base de datos con documentos y citas en el ámbito mundial. Estos documentos servirán como base inicial de nuestra investigación. La ejecución de la búsqueda se encuentra asociada directamente a las preguntas de investigación teniendo en cuenta las palabras clave como eje fundamental del proceso de búsqueda.

Etap 3: Selección de información relevante, para la etapa de selección de información relevante se realiza un filtro de todos los documentos con el fin de incluirlos o excluirlos dentro de nuestra investigación. Los criterios de inclusión y exclusión van relacionados con nuestras preguntas de investigación.

Etap 4: Esquema de clasificación, en esta etapa se realiza el esquema de clasificación de acuerdo a los datos encontrados en cada documento relevantes y se realiza la clasificación de los mismos en cada uno de los apartados de clasificación que correspondan.

Etap 5: Visualización de resultados, una vez que se realizó el proceso de inclusión y exclusión tiene que visualizarse como resultado un determinado

número de documentos los cuales deben estar completamente relacionados con el tema de investigación y dando respuesta a las preguntas de investigación que se planteó al inicio del proceso de mapeo sistemático.

Ahora veremos conceptos relacionados con nuestra investigación como son tipos de cámara y algoritmos de visión artificial con el fin de posteriormente poder entender nuestros resultados obtenidos.

B. Vehículo aéreo no tripulado (UAV)

Vehículo aéreo no tripulado es un vehículo que funciona sin la necesidad de una tripulación este puede tener un nivel de vuelo sostenible y controlado [43].

C. Cámaras de 360°

Son dispositivos integrados a un vehículo aéreo no tripulado que proporcionan una vista panorámica de la imagen 360 grados y en cualquier tipo de ángulo [28].

A. Sistemas Catadióptricos

En [31], [25], [7] se menciona que este es un sistema de espejo convexo y una cámara la cual está apuntando hacia este espejo de forma que el eje de revolución del espejo este alineado con el eje óptico de la cámara de forma vertical, el espejo convexo se utiliza para que el entorno se refleje en él y de esta manera obtener una vista de 360° mientras que la cámara realiza la toma de la imagen de 360°.

B. Sistemas Array de cámaras

El Array de cámaras se basa en el uso de un conjunto de cámaras con iguales características que dependiendo la posición de cada cámara se puede obtener una vista panorámica de 360 grados en varias direcciones, que usualmente dependiendo de las cámaras y su calidad cubren desde un 90% de campo visual de la imagen [39], con esto podemos denotar que el array de cámaras sus resultados principales son la obtención de múltiples puntos de vista para evitar la posible mala resolución y al campo de visión restringida [26].

D. Procesamiento de imágenes

Es un conjunto de técnicas y algoritmos que una vez obtenida las imágenes o videos del vehículo aéreo no tripulado se enfoca en el mejoramiento de la calidad de las imágenes y disminuir el problema de búsqueda de información [34].

E. Filtro de Kalman

Según [10], [9] y [32] el Filtro de Kalman es un algoritmo que se utiliza básicamente para realizar los cálculos de posicionamiento y navegación de los UAV, pero va más allá de este simple concepto ya que en [25] y [35] se menciona que este algoritmo es utilizado como un fusionador de varios resultados que se arrojan de un odómetro visual y una unidad de medición inercial.

Primero en la Odometría visual se realiza el cálculo de las características y el flujo óptico en función de una imagen utilizando algoritmos de visión para estos trabajos los autores utilizaron los algoritmos FAST y SURF respectivamente, mientras que en la unidad de medición inercial se mide la velocidad, orientación del UAV.

F. Algoritmo SIFT

El algoritmo SIFT en [39], [38] es definido como un descriptor de apariencia que fue desarrollado por David Lowe en 1999. Este se encarga de tomar características distintivas, es decir, puntos de referencia de las imágenes en escalas de grises. Estas características no cambian pues son invariantes a rotación, escalado y traslación. Posteriormente los datos son almacenados para luego ser comparados con otra imagen del mismo objeto con el fin de que este sea reconocido.

En [16] se muestra el proceso por el cual pasa este algoritmo. En primera instancia es la detección de la escala de la imagen y localizaciones de todos los puntos posteriormente se selecciona los puntos clave basándose en sus características. Como siguiente paso se les asigna a estos puntos varias orientaciones de esta manera se garantiza la invariancia de rotación, escalado y traslación por último se le asigna un descriptor del punto.

G. Técnica Visión por sonar

Según [20] y [23], este algoritmo se lo utiliza para realizar la navegación autónoma de un UAV sin la necesidad de utilizar otros sensores. El primer paso que realiza esta técnica es la detección de bordes y convierte a la imagen en blanco y negro luego se utilizan haces virtuales que son vectores que van desde el centro de la imagen hasta una variación de degradación en la imagen obtenida por el sistema omnidireccional.

Para realizar el cálculo de dirección se crea un vector movimiento. Se utilizan los vectores unitarios de cada vector que represente un camino libre y abierto sin obstáculos pues estos son sumados para

obtener la dirección del vector. Por último, se dibuja la dirección vectorial de movimiento final. Una parte importante de esta técnica es que se ha ido mejorando con el tiempo y por ende reduciendo sus necesidades de procesamiento.

H. Algoritmo SURF

SURF (Speeded Up Robust Features) hace referencia a un algoritmo que tiene como objetivo principal la identificación y almacenamiento de puntos clave. Fue desarrollado por Herbert Bay [39]. El algoritmo Surf puede hacer coincidir los objetos en dos imágenes en condiciones moderadas y realiza el procesamiento en tiempo real y con un costo computacional muy bajo [18].

El algoritmo SURF es una mejora del algoritmo SIFT [43], esta mejora la eficiencia del algoritmo además que reduce el tiempo de respuesta y necesita de menor poder de procesamiento. La fase de desarrollo de SURF se basa específicamente en tres puntos; extracción de puntos de característica parciales, descripción de puntos de característica y coincidencia de puntos de característica.

I. Algoritmo CNN

Redes Convolucionales (CNN, siglas en inglés), son redes neuronales especializadas para el procesamiento de grandes datos, las cuales tienen una estructura multicapa que se forma en tres capas: capa de entrada, capa oculta y capa de salida [28]. Cada capa contiene uno o más nodos representados en cada fase de procesamiento y la conexión de nodo a nodo indican el flujo de información entre nodos.

Se hace directamente referencia al nombre “red neuronal convolucional” a que dentro de su procesamiento realiza una operación matemática llamada convolucion, la cual es utilizada por las redes convolucionales en lugar de multiplicación de matrices por lo menos en una de sus capas. El enfoque principal de CNN se basa en la identificación de patrones en imágenes, reconocimiento de rostros, etc.

J. Técnica SLAM

El SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) es una técnica que permite al robot autónomo la creación de mapas de un entorno, el cual es desconocido para el robot autónomo y al mismo tiempo realizar la estimación de la trayectoria [35] usando el mapa que previamente fue creado.

A lo largo de la evolución de la técnica SLAM se fueron generando varios inconvenientes en

problemas de mapeado y localización. Con el transcurrir del tiempo se fueron realizando grandes contribuciones al algoritmo, al área de mapeo y localización basada visión con sensores tipo sonar enfocados en robots móviles y el uso de filtros conjuntamente con los algoritmos como el filtro de Kalman.

La idea principal de SLAM es posicionar al robot utilizando un entorno desconocido con la construcción de mapas, los robots usualmente utilizan la Odometría usando datos de sensores de movimiento para que en el transcurso de la navegación poder estimar la posición del robot, pero como la Odometría no es muy fiable, y no se tiene la certeza de la información de posicionamiento que genera, se utilizan sensores de distancia que solventan errores cometidos por la Odometría.

Con ello se realiza una actualización de estimación que usualmente se realiza con EKF (Extended Kalman Filter) que sin ninguna duda es uno de los elementos más importantes del SLAM [21].

III. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO

Como primera etapa realizamos la definición de la pregunta principal de investigación. En este caso la pregunta principal que planteamos es ¿Cuál es el estado de arte sobre el procesamiento digital de imágenes de 360° orientado a la navegación de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV)? para poder contestar nuestra pregunta general realizamos preguntas de segundo orden:

- RQ1 ¿Cuál es el desarrollo de técnicas y algoritmos de procesamiento de imágenes orientado a la navegación?
- RQ2 ¿Cuáles son las técnicas y algoritmos de procesamiento de imágenes 360° orientados a la navegación?
- RQ3 ¿Qué técnicas y algoritmos se utilizan en el procesamiento de imágenes 360 orientados a la navegación de UAV?

En el caso de RQ1 buscamos comprender el desarrollo cronológico de técnicas y algoritmos de procesamiento de imágenes orientados a la navegación.

En el segundo caso RQ2 veremos las técnicas y algoritmos específicos que se utilizan en el procesamiento de imágenes digitales 360° orientados a la navegación.

Por último, en RQ3 definiremos las técnicas y algoritmos que se utilizan específicamente para el procesamiento de imágenes 360° orientados a la navegación de UAV.

A. Búsqueda de estudios primarios

Como segunda etapa para obtener todos los estudios primarios (artículos relevantes) realizamos una cadena de búsqueda, la cual tiene como objetivo devolver información acorde a las palabras claves. En la Tabla 1 se muestra las palabras clave que utilizamos en nuestra cadena de búsqueda final. Todas estas palabras clave tienen una relación con las preguntas de investigación RQ1, RQ2, RQ3 y también nuestra pregunta principal. Además, utilizamos sinónimos con el fin de mejorar las búsquedas.

Una de las limitaciones de la cadena de búsqueda se enfoca en la exclusión de los términos independientes como, por ejemplo: “navegación”. Estos términos independientes dan resultados inmanejables (más de 30,000 documentos), que en su mayoría son irrelevantes. Para el caso de “navegación” este se utiliza en muchas disciplinas, además que para la navegación existen técnicas que no tienen relevancia con el procesamiento de imágenes 360°.

Por otra parte, para reducir el riesgo de exclusión de artículos relevantes para nuestra investigación construimos una cadena de búsqueda que contiene dos o más palabras sin caer en la acumulación de muchas ya que esto haría demasiado específica la búsqueda dándonos muy pocos resultados. Estas palabras clave fueron ingresadas en los buscadores de las bases de datos científicas que se muestran en la Tabla 2. Usamos estas bases de datos ya que la mayoría de esta información es validada por la comunidad científica [3].

TABLA 1
PALABRAS CLAVE CADENAS DE BÚSQUEDA

Algoritmos	Algoritmo SIFT; algoritmo HOG; algoritmo SURF; algoritmos SLAM
360°	Procesamiento 360°; imagen 360° navegación; SIFT 360°; SURF 360°; omnidireccional SIFT; omnidireccional SURF
UAV	Navegación UAV; técnicas navegación UAV; Métodos navegación UAV; tecnologías navegación UAV; SIFT 360 UAV

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2. Por otro lado, la selección de las bases de datos se basa en los siguientes criterios:

- Qué tipo de investigaciones que son publicadas en las bases de datos.
- Capacidad para manejar consultas avanzadas.
- Interpretación al momento de obtener documentos por palabras claves.
- Rapidez al momento de obtener resultados concretos.

TABLA 2
SELECCIÓN DE BASES DE DATOS Y DOCUMENTOS
OBTENIDOS

ID	Bases de datos consultadas	Nº documentos
A	Scopus	190
B	ScienceDirect	547
C	IEEE	95
D	Google scholar	228
	TOTAL	1060

B. Revisión e identificación de documentos relevantes

A continuación, en la tercera etapa, se explica los criterios de inclusión y exclusión de los documentos relevantes. Nuestro criterio de inclusión tiene como objetivo que los documentos respondan a nuestra pregunta principal y preguntas de segundo orden. Por otro lado, nuestros criterios de exclusión de documentos fueron:

- Artículos duplicados.
- Sin relevancia para el tema.
- Documentos obsoletos fuera del rango (2000 -2018).
- Relacionados con procesamiento de imágenes 360° pero no orientados a navegación.
- Relacionado con navegación, pero no con procesamiento de imágenes 360°.

Una vez definidos estos criterios procedimos a realizar el trabajo de exclusión de documentos. El flujo que seguimos se muestra en la Figura 2. Como se observa, en la fase uno unimos los 4 resultados de búsquedas de las bases de datos y desarrollamos una matriz en Excel con los 1060 artículos encontrados. Los campos que se utilizaron fueron: título, autores y DOI. Para eliminar los duplicados utilizamos el campo DOI ya que este es un código irrepetible dentro de artículos científicos como resultado obtuvimos 639 documentos. Posteriormente en la segunda fase analizamos los metadatos, los cuales describen la información de los archivos o contenidos de los mismos de forma general, por

ejemplo: Título, año, autores, palabras clave, para este caso utilizamos el campo año de esta manera identificamos si alguno de estos documentos coincide con el criterio de exclusión documentos obsoletos. Como resultado se obtuvieron 392 documentos.

En la tercera fase realizamos un estudio del resumen de cada artículo y determinados si los mismos coinciden con nuestro criterio de exclusión sin relevancia para el tema. Se obtuvieron como resultado 86 documentos como se muestra en la Figura 2. Por otra parte, encontramos nuevos términos que se pudieron agregar a las palabras clave y por ende mejorar nuestra cadena de búsqueda al momento de leer los resúmenes.

Como última fase se leyeron los artículos por completo y se aplicaron los dos últimos criterios de exclusión volviéndose a reducir el número de artículos a 40. En la Tabla 3 se muestra la justificación de cada exclusión. Sin embargo, se observó que la precisión de las búsquedas es baja ya que de los 1060 documentos solo 40 fueron documentos relevantes (3,77%). Una forma de mejorar estos resultados es la aplicación de más bases de datos.

TABLA 3
RAZONES DE EXCLUSIÓN DE PAPERS

Razón	Cantidad
Artículos duplicados	421
Documentos obsoletos	247
Sin relevancia al tema	306
Relacionados con procesamiento de imágenes 360° pero no orientados a navegación	22
Relacionado con navegación, pero no con procesamiento de imágenes 360°	24
Total de papers	1060
Total excluidos	1020
Total incluidos	40

C. Extracción de datos y mapeo

Una vez realizado el filtro de los documentos que se menciona en la Sección III B, en la cuarta etapa procedemos a extraer los datos de los documentos relevantes, para ello llenamos una segunda hoja de Excel con los siguientes datos: Título del documento, año de publicación, autores, idioma resultados, notas, tipo. También utilizamos este proceso de extracción y mapeo para revisar la bibliografía de cada artículo con el fin de identificar otros posibles documentos relevantes para esta investigación.

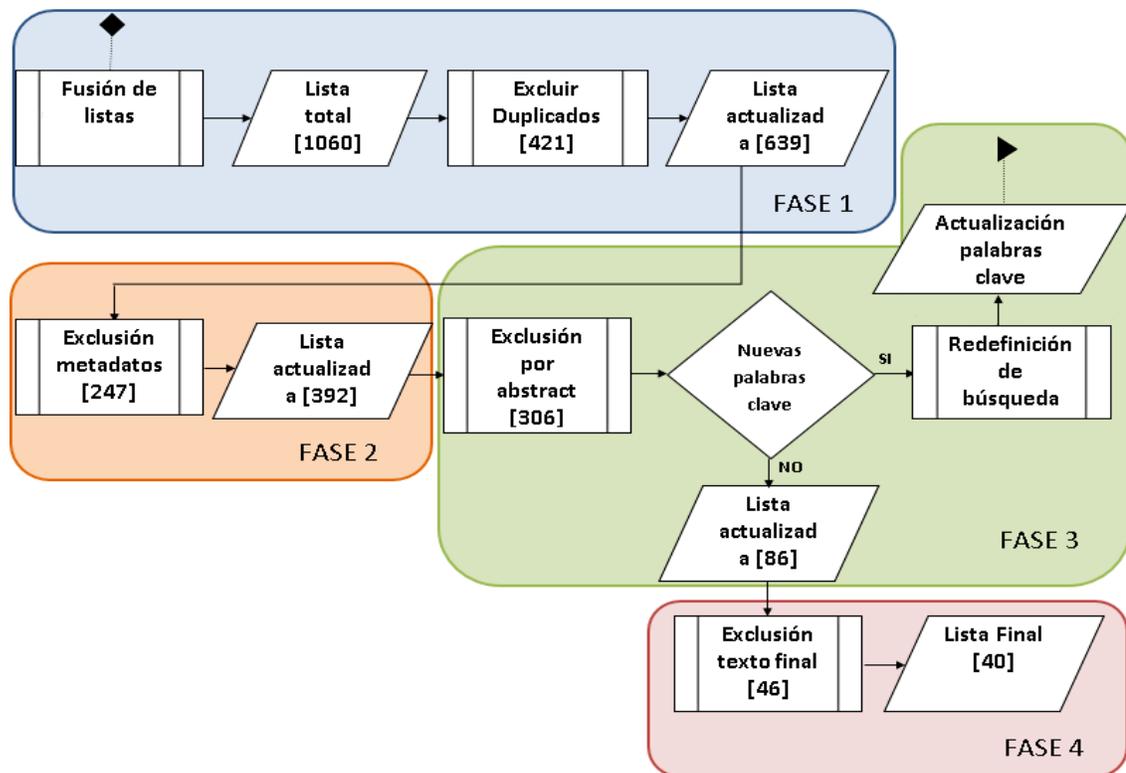


Figura 2 Flujo de trabajo exclusión de documentos

D. Evaluación de relevancia y rigor

Uno de los problemas que tiene este tipo de investigaciones es transmitir los resultados a los demás investigadores, además de demostrar la validez de los hallazgos [3]. Para evaluar los resultados en los documentos de relevancia se utiliza un paso adicional que es la evaluación de rigor y la relevancia, ya que esto nos ayuda a evaluar la calidad de los estudios mapeados, mediante el uso y desarrollo de una clasificación simple de los documentos.

Se utilizó un modelo válido y sistemático descrito en [4], este modelo se basa en la clasificación de los documentos relevantes para tener una visión general aproximada del estado y el progreso de la investigación para identificar patrones.

A continuación, se explica cómo se realizó el proceso para evaluar el rigor científico y la relevancia de cada documento e identificar el esquema de clasificación de la Tabla 4.

A parte, definimos los conceptos clave de cada etiqueta que utilizaremos para la clasificación, estos conceptos se organizaron de tal forma que nos permita identificar que técnicas y algoritmos se

utilizan actualmente con más frecuencia para el procesamiento de imágenes de 360° orientado a la navegación.

E. Esquema de clasificación

Lo que se realizó fue crear un esquema de clasificación que se muestra en la Tabla 4 y definir cada una de las etiquetas que utilizamos:

- **Pertinencia:** Refleja si los artículos relevantes son completos o parciales es decir un artículo es completo cuando se muestra modelos matemáticos, algoritmos y su implantación por otra parte un artículo parcial solo contendrá una o dos de los anteriores apartados.
- **Descripción:** Se muestra un resumen con las ideas principales o el contenido que se encuentra en cada uno de los artículos relevantes.
- **Año:** Describe el año de publicación de cada documento relevante con el fin de saber los años en los que más se han realizado investigaciones sobre procesamiento de imágenes de 360° orientado a la navegación.

- Tipos de cámaras: Se muestran que tipos de cámaras se utilizaron para la obtención de las imágenes de 360°.
- Herramientas y librerías: Se muestran las herramientas o librerías que se utilizaron para la implementación de los algoritmos cabe recalcar que no todos los documentos relevantes mostraron las herramientas y librerías que utilizaron.
- Simulación e Implementación: Se muestra si los algoritmos fueron implementados con datos reales o solo e realizo una simulación con datos ficticios en un ambiente de prueba
- Técnicas y Algoritmos: Se muestran todos los algoritmos y técnicas encontrados en los documentos relevantes.

IV. RESULTADOS

En esta quinta etapa se muestran los resultados obtenidos aplicando el esquema de clasificación sobre los 40 documentos relevantes, usamos diagramas de barras para mostrar los resultados referentes a los años de publicación y tipos de cámaras utilizados. Por otra parte, utilizamos diagramas de burbujas para demostrar los hallazgos referentes a los algoritmos que encontramos y definir cuáles son los más utilizados, también que sistemas de cámaras se utilizan para la obtención de imágenes de 360° y qué herramientas y librerías se utilizan para su implementación, cabe recalcar que estos datos se obtienen de la Tabla 4 realizando el análisis de los mismo.

A. Análisis de distribución cronológica

La Figura 3 nos muestra en el eje X la distribución de los años de publicación de todos los artículos relevantes mientras que el eje Y nos muestra la sumatoria de todos los artículos relevantes por cada año, como se puede observar a partir del año 2014 se realiza el 62,5% de investigaciones relacionadas con el procesamiento de imágenes 360 orientado a la navegación de UAV esto quiere decir que en estos últimos años las investigaciones sobre este tema han aumentado considerablemente respecto a todos los años anteriores .

B. Análisis tipos de cámaras

Como se puede observar en la figura 4 existen dos tipos de sistemas de cámaras para obtener imágenes de 360° las cuales son array de cámaras y Catadióptrico como se observa en la Figura 4 el sistema Catadióptrico se utiliza en 23 artículos relevantes esto es el 57,7% mientras que el sistema

de array de cámaras es utilizado en 17 artículos relevantes esto es el 42,5%.



Figura 3 Distribución de artículos por años

En [23], [9] se menciona que utilizan el sistema catadióptrico ya que su implementación es fácil además que el costo de adquisición es bajo, pero tiene un problema ya que la resolución es de baja calidad y también pueden existir reflejos que dañen la imagen que se proyecta sobre el espejo. Por otra parte, En [36], [12] y [15] se menciona que el sistema de array de cámaras es difícil de montar, por otra parte, el costo de adquirió de cámaras es elevado también el procesamiento y unión de cada sección de una cámara es elevado, pero se gana una mejor calidad de imágenes ya que la resolución de las cámaras es alta.

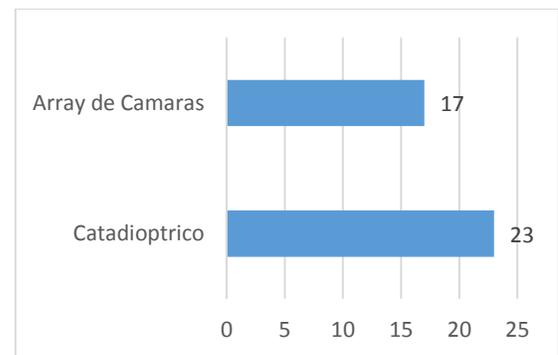


Figura 4 Sistema catadióptrico vs array de cámaras

C. Análisis de distribución de algoritmos

En la figura 5 en el eje X se muestra el número de algoritmos que encontramos mientras que en el eje Y se muestra los sistemas de cámaras que utilizan en cada documento con respecto a los algoritmos. En la figura 6 en el eje X se muestra la distribución de algoritmos mientras que en el eje Y se muestra las herramientas o librerías que se utilizan para la implementación de los algoritmos, varios documentos que tenían dichos algoritmos no mencionan las herramientas o librerías que se implementaron.

Las figuras 5 y 6 se muestra una distribución de todos los algoritmos encontrados en los 40 documentos relevantes en total se encontraron 22. Dentro de esta distribución se encontró que varias técnicas y algoritmos son utilizados no solo en uno de los documentos relevantes por lo que daremos mayor importancia a estos en total son 2 técnicas y 4 algoritmos que son los más utilizados estos son:

- Algoritmo Filtro de Kalman.
- Algoritmo SIFT.
- Algoritmo SURF.
- Técnica Visión por sonar.
- Técnica SLAM.
- Algoritmo de redes neuronales convolucionales.

Como se puede observar en la Figura 5 el filtro de Kalman es utilizado en 8 investigaciones, es decir el 20%. De las cuales 7 utilizan sistemas Catadióptricos para realizar la toma de imágenes de 360° y solo 1 utiliza sistemas de Array de cámaras. Este indicador nos dice que los sistemas catadióptricos son más utilizados cuando se utiliza el filtro de Kalman.

Para el caso del algoritmo SIFT, este es utilizado en 5 investigaciones es decir el 12,5%. De las cuales 4 utilizan el sistema de Array de Cámaras y 1 el sistema Catadióptrico por lo que se puede ver el sistema de Array es mucho más utilizado cuando realizan implementaciones con el algoritmo SIFT.

Por otra parte, en el caso del algoritmo SURF que es una mejora del algoritmo SIFT, este es mencionado en 8 investigaciones, es decir el 20%, de las cuales 4 utilizan sistemas de Array y 4 utilizan sistemas Catadióptricos. Este indicador nos dice que existe una disputa entre cuál de estos dos sistemas es el mejor cuando se implementa el algoritmo SURF.

Para el caso del algoritmo de redes neuronales convolucionales (CNN) este es utilizado en 2 investigaciones, es decir, el 5% de las cuales las dos utilizan un sistema de Array de Cámaras este indicador nos dice que el sistema de Array de Cámaras es el más utilizado en este algoritmo. En cuanto a la técnica SLAM podemos ver que es utilizada en 6 investigaciones de las cuales 4 utilizan un sistema Catadióptrico y 2 utilizan Array de Cámaras por lo que para esta técnica es más utilizado el sistema Catadióptrico. En cuanto a la técnica de visión por sonar, es utilizada en 3 investigaciones 7,5% de las cuales 2 utilizan un sistema Catadióptrico y 1 Array de Cámaras por lo cual el sistema Catadióptrico es más utilizado para este tipo técnica

En la Figura 6 podemos observar las herramientas y librerías que se utilizan con el fin de implementar dichos algoritmos la herramienta de Matlab es utilizada 6 veces para implementar el filtro de Kalman, 2 para SIFT, 4 para SURF y 4 en la técnica SLAM esto quiere decir que la implementación del filtro de Kalman en su mayoría es realizada en Matlab.

Por otra parte, C++ es utilizado 1 vez en el algoritmo de redes neuronales convolucionales, 3 en la técnica de visión por sonar por lo que la implementación de visión por sonar en su mayoría es realizada en lenguaje C++.

En cuanto a la librería OpenCV tenemos que es utilizada 1 vez en el algoritmo de filtro de Kalman, 1 vez en SIFT, 2 veces para SURF, 3 en la técnica de visión por sonar y 1 en la técnica SLAM de esto podemos decir que OpenCV es una librería que se puede utilizar en Matlab y C++ ya que la implementación del filtro de Kalman, SIFT y SURF se realiza en Matlab y la de visión por sonar en C++.

D. Discusión

Según [11], [9] y [23] en la actualidad la navegación autónoma de UAV basada en visión se ha vuelto muy importante en áreas como robótica e ingeniería en sistemas. En un principio, uno de los retos más importante para los investigadores de la comunidad científica es que estos sistemas tengan la capacidad de reconocimiento de objetos mediante imágenes omnidireccionales y naveguen en tiempo real evitando obstáculos.

Otro problema que se tiene es que los sistemas desarrollados para los UAV demandan de gran poder computacional como de energía [22], [25], [19]. En la investigación que realizamos encontramos varios algoritmos que se han desarrollado tratando de dar soluciones a este problema como es SURF que es una mejora al algoritmo SIFT, las redes neuronales convolucionales (CNN) con la utilización de una estructura multicapa, visión por sonar utilizando específicamente imágenes para la navegación sin la utilización de otros sensores.

Este problema ha dado como resultado que existan un sin número de algoritmos que puedan suplir estas necesidades como se muestra en las Figuras 5 y 6 al encontrar (exactamente 22 algoritmos).

TABLA 4
DESCRIPCIÓN DE MAPA SISTEMÁTICO DE LOS 40 DOCUMENTOS RELEVANTES

Descripción	Año	Tipo cámara	Herramientas/librerías	Simulación / Implementación	Técnicas/Algoritmos
Investigaciones completas					
Utiliza el algoritmo HOG para determinar puntos característicos de las imágenes además que nuestra su fórmula matemática y su implementación [5].	2000	Catadióptrica	L: OpenCV	Implementación	A: Histogramas de Gradiente Orientado (HOG)
Se describe un sistema de imágenes cónicas a partir de 6 cámaras para probar algoritmos y sistemas de visión en plataformas móviles [6].	2003	Array de cámaras	N/D	Simulación	A: Transformada de Hough
Muestra el diseño de un sistema omnidireccional, reconocimiento de características a través del algoritmo hu [7]	2004	Catadióptrica	L: OpenCV	Implementación	A: Memento de Hu, Structure from motion (SFM)
Se examina el algoritmo de Odometría visual de estero y el algoritmo KLT para la extracción de características para el registro de técnicas en imágenes [8].	2007	Array de cámaras	N/D	Implementación	A: Kanade-Lucas-Tomasi (KLT)
Muestra un sistema de mapeo basado en la visión en tiempo real que detecta y localiza los obstáculos estacionarios utilizando una única cámara omnidireccional y sensores de navegación (GPS y giroscopio) [9]	2008	Catadióptrica	H: Matlab	Implementación	A: Filtro de Kalman (FK)
Describe el flujo óptico correspondiente a 2 imágenes se calcula la posición final e inicial, toma los resultados que arroja y luego se aplica el filtro de Kalman [10].	2009	Catadióptrica	H: Matlab	Implementación	A: Filtro de Kalman (FK)
Se realiza una investigación de obstáculos en tiempo real basada en visión monocular en un entorno no estructurado y sin cobertura GPS [11].	2009	Catadióptrica	H: Matlab	Implementación	A: Speeded-Up Robust Features (SURF)
Investigación sobre la prevención de colisiones basado en cámaras omnidireccionales con resultados tan favorables incluso con rangos de maniobras de evasión con rangos pequeños [12].	2011	Catadióptrica	N/D	Simulación	A: Mean Shift
Construye un mapa visual del entorno mediante el uso de un conjunto de imagen con esto se procede a calcular la posición y orientación utilizando la técnica SLAM [13].	2012	Catadióptrica	H: Matlab L: OpenCV	Implementación	T: Simultaneous Localization and Mapping(SLAM) A: Speeded-Up Robust Features (SURF); Filtro de Kalman(FK)
Investigación basada en plataformas estereoscópica híbridas en ojo de pez se enfocan en métodos los cuales se aplican en tiempo real [14].	2012	Array de cámaras	N/D	Implementación	A: Speeded-Up Robust Features (SURF)
Realiza una comparación entre tres algoritmos dando como resultado que el ultimo es el más óptimo y eficiente, este se basa en la evasión y reconocimiento de obstáculos de las imágenes [15].	2014	Array de cámaras	H: Matlab	Simulación	A: Fuerza Bruta; MLE
Utiliza los algoritmos SIFT y SURF como extractor de características posteriormente esto se utiliza para realizar la navegación y estimación de altura de Un vehículo aéreo no tripulado (UAV) [16].	2014	Array de cámaras	H: Matlab L: OpenCV	Simulación	A: Scale-invariant feature transform (SIFT); Speeded-Up Robust Features (SURF)

Investigación se basa en la navegación completamente autónoma utilizando el algoritmo RANSAC la cual permite generar un modelo matemático a partir de datos atípicos [17].	2014	Array de cámaras	L: OpenCV	Implementación	A: Random sample consensus (RANSAC)
Este trabajo se basa en la vision monocular, detección y evitación de obstáculos en tiempo real [18].	2014	Array de cámaras	H: Matlab	Implementación	A: Speeded-Up Robust Features (SURF)
Utiliza imágenes omnidireccionales y se realiza la localización mediante un algoritmo de filtro de partículas. Estas partículas se filtran temporalmente para la estimación de localización final del UAV [19].	2015	Catadióptrica	N/D	Implementación	A: Filtro de partículas
Presenta el algoritmo de vision por sonar aplican a la vision omnidireccional con el fin de que un UAV navegue de forma autónoma Calcula la ruta más deseada basada en haces de sonar[20].	2015	Catadióptrica	H: C++ L: OpenCV	Implementación	T: Vision por Sonar
Se realiza el procesamiento de imágenes 360 en tiempo real y extrae la información de dirección y distancia de los obstáculos utilizando la transformada de Hough y el algoritmo de agrupamiento iterativo lineal simple (SLIC) [21].	2015	Catadióptrica	H: Matlab; C++ L: OpenCV	Implementación	A: Transformada de Hough A: Segmentación SLIC
Se utilizan múltiples cámaras para tener un entorno 360 y poder percibir y evitar obstáculos basado en imágenes [22].	2017	Array de cámaras	H: Matlab	Implementación	A: Scale-invariant feature transform (SIFT)
Este artículo presenta la técnica de vision por sonar, utiliza imágenes omnidireccionales en la cuales se trazan vectores virtuales los cuales al ser sumados dan una trayectoria con ángulo y longitud [23].	2017	Catadióptrica	H: C++ L: OpenCV	Implementación	T: Vision por sonar
En el presente paper se desarrolla el método SLAM con enfoque en datos de visión omnidireccional, aplicado en robots autónomos la cual puede implementarse en ambientes interiores o saturado[24].	2017	Catadióptrica	H: Matlab	Simulación	A: Filtro de Kalman (FK); T: Simultaneous Localization and Mapping(SLAM)
Tiene como primer punto la utilización de el algoritmo FAST para la detección de características posteriormente se aplica el filtro de Kalman para realizar la navegación[25].	2018	Catadióptrica	H: Matlab	Implementación	A: Filtro de Kalman(FK) A: Transformada rápida de Fourier (FAST)
Se desarrolla una solución integrada para la evasión de colisiones en los UAV utilizando el algoritmo SLAM en ambientes típico[26].	2018	Catadióptrica	H: Matlab	Implementación	A: Simultaneous Localization and Mapping(SLAM)
Se realiza un experimento para un robot móvil equipado con una cámara omnidireccional, y propone una estrategia de navegación autónoma en ambientes interiores y / o exteriores desconocidos [27].	2018	Catadióptrica	H: Matlab	Implementación	A: Esqueletizacion
Se desarrolla el procedimiento de red neuronal de convolucion conjuntamente con la técnica de ojo de pez sobre imágenes de 360 grados [28].	2018	Array de cámaras	H: C++	Implementación	A: Red neuronal de convolucion (CNN)
Investigaciones parciales					
Desarrolla un método de fusión de sensores omnidireccionales la cual realiza la medición y la distancia de puntos reflexión en una imagen [29].	2000	Catadióptrica	N/D	Implementación	A: Filtro de partículas

Como objetivo principal se realiza una comparación de dos configuraciones de cámara para evitar obstáculos en el espacio 3D utilizando QNX que es un software de sistemas operativos en tiempo real [30].	2004	Array de cámaras	H: C++ L: OpenCV	Implementación	T: Vision por Sonar
Desarrollar un sistema omnidireccional posteriormente describen como se utiliza el algoritmo CAMShift para el seguimiento de objetos y mediante esto lograr la navegación [31].	2006	Catadióptrica	L: OpenCV	Implementación	A: CAMShift
Se utiliza iluminación de infrarrojo cercano, imágenes omnidireccionales y reconocimiento de puntos de referencia artificiales. El filtro de Kalman se utiliza para integrar los resultados de la visión y el odómetro [32].	2009	Catadióptrica	N/D	Implementación	A: Filtro de Kalman (FK).
Se basa en la investigación y resultados del uso de técnicas omnidireccionales de visión artificial a bordo de un UAV tanto para modo manual y modo autónomo [33].	2010	Catadióptrica	N/D	Implementación	A: Quick Hull
Enfoque en algoritmos de control y estimación para procesamiento de imágenes 360 [34].	2014	Array de cámaras	H: Matlab	Implementación	A: Filtro de Kalman (FK)
Se realiza un nuevo método para la creación rápida de prototipos de espejos curvos utilizando la impresión 3D [35].	2016	Catadióptrica	N/D	Simulación	A: Filtro de Kalman (FK)
Se propone un mapeo de obstáculos y un enfoque de exploración que toma en cuenta las propiedades del sistema SLAM [36].	2017	Array de cámaras	N/D	Simulación	A: Simultaneous Localization and Mapping(SLAM)
Utiliza la técnica SLAM con el propósito de estimar la posición y orientación de un UAV utiliza el algoritmo como el descriptor y detector de objetos [37].	2017	Catadióptrica	N/D	Simulación	T: Simultaneous Localization and Mapping(SLAM)
Esta investigación propone un sistema experto automático basándose en la segmentación de imágenes [38].	2017	Array de cámaras	N/D	Implementación	A: Scale-invariant feature transform (SIFT)
Estudio de sensores de visión omnidireccionales basándose en los tres problemas principales al momento de usar robots autónomos mapeo, localización y tareas de navegación [39].	2017	Catadióptrica	N/D	Simulación	A: Scale-invariant feature transform (SIFT) A: Speeded-Up Robust Features (SURF)
Se propone un método basado en sensores visuales dentro del UAV el cual visualiza obstáculos conocidos como desconocidos [40].	2018	Array de cámaras	N/D	Implementación	A: Optimización por Enjambres de Partículas (PSO)
El objetivo de este trabajo es permitir que un UAV navegue de forma autónoma y esto se logra utilizando una red neuronal convolucional [41]	2018	Array de cámaras	N/D	Implementación	A: Red neuronal de convolucion (CNN)
Se investiga un algoritmo para estimar la posición del propio UAV se implementa SLAM [42].	2018	Array de cámaras	H: Matlab	Implementación	A: Simultaneous Localization and Mapping(SLAM)
Se propone una técnica de estimación de la distancia que utiliza una única cámara ligera de ojo de pez, con resultados favorables en 1D Y 2D [43]	2018	Array de cámaras	N/D	Implementación	A: Scale-invariant feature transform (SIFT) A: Speeded-Up Robust Features (SURF)
Se profundiza en el estudio de la geometría óptica del sistema estereoscópico hiperboloidal omnidireccional y el análisis de los errores en los mismos [44].	2018	Catadióptrica	N/D	Simulación	A: Speeded-Up Robust Features (SURF)
Valores	H= Herramientas; L= Librería; A= Algoritmo; T= Técnica, N/D= No definido				

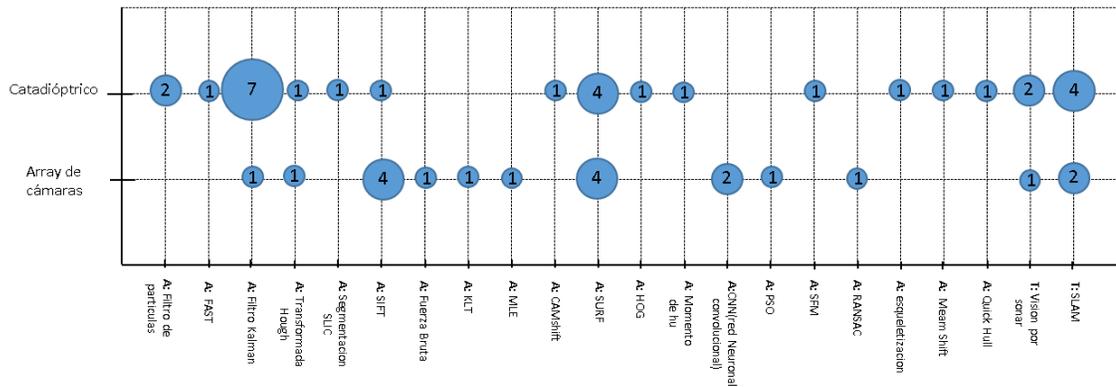


Figura 5 Diagrama de burbuja sistemas de cámaras utilizados en algoritmo

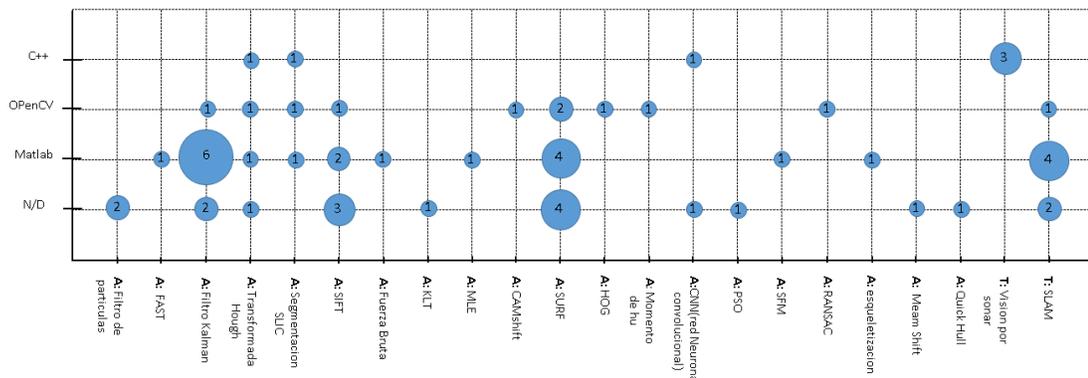


Figura 6 Diagrama de burbujas Herramientas y librerías más utilizadas en los algoritmo

Uno de los problemas con más importancia es la necesidad de poder computacional es decir de procesamiento ya que los sistemas de Hardware internos del UAV son limitados. Una de las soluciones que proponen [12] y [23] es la utilización de una conexión inalámbrica del sistema de UAV con una PC para que los datos capturados lleguen a una PC sean procesados y luego enviados de vuelta los resultados al UAV. Un pequeño inconveniente es que los tiempos de retardos y latencias de la red pueden variar con el tiempo haciendo menos eficiente la llegada de datos hacia la PC como hacia el UAV, pero en si en las pruebas realizadas la conexión tuvo un retardo y latencias bajas por lo que el beneficio de procesamiento es muy grande con respecto a la conexión.

V. CONCLUSIONES

El objetivo principal de esta investigación fue obtener un estudio técnico de publicaciones en las dos últimas décadas, sobre técnicas y algoritmos de procesamiento digital de imágenes de 360° orientadas a la navegación de Drones en base a los avances más importantes que se han logrado desarrollar en el área de la navegación autónoma, el cual fue posible mediante el desarrollo de la

herramienta de mapeo sistemático el cual permite profundizar sobre un tema en específico y responder una pregunta de investigación principal y preguntas de investigación secundarias específicas con diferentes niveles de complejidad según el tema a desarrollarse.

La pregunta respecto al desarrollo de técnicas y algoritmos de procesamiento de imágenes orientado a la navegación fue respondida en las Figuras 5 y 6 al encontrar exactamente 22 algoritmos para el procesamiento de imágenes y sus características principales, finalmente hacemos referencia solamente a 6 los cuales se pueden evidenciar en la sección IV C debido a que los mismo son los más utilizados.

Con respecto a la búsqueda realizada pudimos observar que en trabajos previos los cuales la comunidad científica avala, se ha expuesto dudas muy parecidas las cuales motivaron el desarrollo de este artículo pero siempre enfocándose en uno o dos algoritmos en específico, lo cual nos permitió enfocarnos en la recolección y búsqueda de varios algoritmos que por sus características aportan al procesamiento de imágenes un valor muy importante según su aplicación lo cual podemos

evidenciar en la Tabla 4, y que en la mayoría de investigaciones se realiza una implementación de los algoritmos con resultados favorables en el procesamiento de imágenes basados en su efectividad y precisión.

Según los resultados obtenidos proponemos que las futuras investigación se enfocaran a estudios específicos de los 6 algoritmos que describimos en muestra investigación en la sección IV C resultados, ya que estos tienen en común que se han utilizado en más de una investigación con resultados sumamente favorables al momento del procesamiento, posicionamiento y localización.

REFERENCIAS

- [1] «Procesamiento Digital de Imágenes Con MatLAB y SIMULINK. Erik Cuevas, Daniel Zaldivar, Marco Perez C», Scribd. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/313463079/Procesamiento-Digital-de-Imagenes-Con-MatLAB-y-SIMULINK-Erik-Cuevas-Daniel-Zaldivar-Marco-Perez-C>. [Accedido: 15-ene-2019].
- [2] S. Mandujano, M. Mulero-Pázmány, y A. Rísquez-Valdepeña, «DRONES: UNA NUEVA TECNOLOGÍA PARA EL ESTUDIO Y MONITOREO DE FAUNA Y HÁBITATS DRONES: A NEW TECHNOLOGY TO STUDY AND MONITOR WILDLIFE AND HABITATS», *Agroproductividad*, vol. 10, pp. 79-84, nov. 2017.
- [3] N. Paternoster, C. Giardino, M. Unterkalmsteiner, T. Gorschek, y P. Abrahamsson, «Software development in startup companies: A systematic mapping study», *Inf. Softw. Technol.*, vol. 56, n.o 10, pp. 1200-1218, oct. 2014.
- [4] M. Ivarsson y T. Gorschek, «A method for evaluating rigor and industrial relevance of technology evaluations», *Empir. Softw. Eng.*, vol. 16, n.o 3, pp. 365-395, jun. 2011.
- [5] N. Winters, J. Gaspar, G. Lacey, y J. Santos-Victor, «Omni-directional vision for robot navigation», en *Proceedings IEEE Workshop on Omnidirectional Vision (Cat. No.PR00704)*, 2000, pp. 21-28.
- [6] P. Firoozfam y S. Negahdaripour, «A multi-camera conical imaging system for robust 3D motion estimation, positioning and mapping from UAVs», en *Proceedings of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance*, 2003., 2003, pp. 99-106.
- [7] S. E. Hrabar y G. S. Sukhatme, «Omnidirectional Vision for an Autonomous Helicopter», 2003.
- [8] J. Kelly y G. S. Sukhatme, «AN EXPERIMENTAL STUDY OF AERIAL STEREO VISUAL ODOMETRY», *IFAC Proc. Vol.*, vol. 40, n.o 15, pp. 197-202, ene. 2007.
- [9] X. Gong, B. Xu, C. Reed, C. Wyatt, y D. Stilwell, «Real-time Robust Mapping for an Autonomous Surface Vehicle using an Omnidirectional Camera», en *2008 IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, 2008, pp. 1-6.
- [10] C. M. Soria, R. Carelli, y M. Sarcinelli-Filho, «CONTROL DE UN ROBOT MÓVIL UTILIZANDO EL FLUJO ÓPTICO OBTENIDO TRAVÉS DE UN SISTEMA OMNIDIRECCIONAL CATADIÓPTICO», 2008, p. 8, 2009.
- [11] M. Tarhan y E. Altu, «Control of a quadrotor air vehicle by vanishing points in catadioptric images», en *2009 International Symposium on Optomechatronic Technologies*, 2009, pp. 92-97.
- [12] L. Mejias y I. F. M. P. Campoy, «Omnidirectional bearing-only see-and-avoid for small aerial robots», en *The 5th International Conference on Automation, Robotics and Applications*, 2011, pp. 23-28.
- [13] A. Gil, D. Valiente, O. Reinoso, y J. M. Marín, «Creación de un modelo visual del entorno basado en imágenes omnidireccionales», 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.ingentaconnect.com/content/doi/16977912/2012/0000009/00000004/art00012>. [Accedido: 30-nov-2018].
- [14] D. Eynard, P. Vasseur, C. Demonceaux, y V. Frémont, «Real time UAV altitude, attitude and motion estimation from hybrid stereovision», *Auton. Robots*, vol. 1-2, n.o 33, pp. 157-172, 2012.
- [15] P. B. Parappat, A. Kumar, R. K. Mittal, y S. A. Khan, «Obstacle avoidance by unmanned aerial vehicles using image recognition techniques», 2014, p. 5, 2014.
- [16] F. Amoros, L. Paya, D. Valiente, L. M. Jimenez, y O. Reinoso, «ESTIMACION DE ALTURA EN APLICACIONES DE NAVEGACION TOPOLOGICAS MEDIANTE APARIENCIA GLOBAL DE INFORMACION VISUAL», p. 8, 2014.
- [17] D. C. Hernández, V.-D. Hoang, A. Filonenko, y K.-H. Jo, «Vision-based heading angle estimation for an autonomous mobile robots navigation», en *2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 2014, pp. 1967-1972.
- [18] S. Saha, A. Natraj, y S. Waharte, «A real-time monocular vision-based frontal obstacle detection and avoidance for low cost UAVs in GPS denied environment», en *2014 IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology*, 2014, pp. 189-195.
- [19] A. Wong, M. Youssefussien, y R. Ptucha, «Localization using omnivision-based manifold particle filters», en *Intelligent Robots and Computer Vision XXXII: Algorithms and Techniques*, 2015, vol. 9406, p. 940606.
- [20] M. H. B. Abadi, M. A. Oskoei, y A. Fakharian, «Mobile robot navigation using sonar vision algorithm applied to omnidirectional vision», en *2015 AI Robotics (IRANOPEN)*, 2015, pp. 1-6.
- [21] G. Pudics, M. Z. Szabó-Resch, y Z. Vámosy, «Safe robot navigation using an omnidirectional camera», en *2015 16th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI)*, 2015, pp. 227-231.
- [22] P. Bauer y A. Hiba, «Vision Only Collision Detection with Omnidirectional Multi-Camera System **This work was supported by the Institute for Computer Science and Control (SZTAKI) Grant Number 008», *IFAC-Pap.*, vol. 50, n.o 1, pp. 15215-15220, jul. 2017.
- [23] M. H. B. Abadi, M. A. Oskoei, y A. Fakharian, «Side sonar vision applied to Omni-directional images to navigate mobile robots», en *2017 5th Iranian Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems (CFIS)*, 2017, pp. 97-102.
- [24] R. Munguía, C. López-Franco, E. Nuño, y A. López-Franco, «Method for SLAM Based on Omnidirectional Vision: A Delayed-EKF Approach», *Journal of Sensors*, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/js/2017/7342931/abs/>. [Accedido: 30-nov-2018].
- [25] S. Reich, M. Seer, L. Berscheid, F. Wörgötter, y J.-M. Braun, «Omnidirectional Visual Odometry for Flying Robots using Low-power Hardware», en *Proceedings of the 13th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications, Funchal, Madeira, Portugal*, 2018, pp. 499-507.
- [26] L. Liu, R. Guo, y J. Wu, «A collision-free motion planning method by integrating complexity-reduction SLAM and learning-based artificial force design», *Robot. Auton. Syst.*, vol. 100, pp. 132-149, feb. 2018.
- [27] R. Marie, H. B. Said, J. Stéphand, y O. Labbani-Igbida, «Visual Servoing on the Generalized Voronoi Diagram Using an Omnidirectional Camera», *J. Intell. Robot. Syst.*, may 2018.
- [28] L. Meng, T. Hirayama, y S. Oyanagi, «Underwater-Drone with Panoramic Camera for Automatic Fish Recognition

Based on Deep Learning», IEEE Access, vol. 6, pp. 17880-17886, 2018.

[29] T. Yata, A. Ohya, y S. Yuta, «Fusion of omnidirectional sonar and omnidirectional vision for environment recognition of mobile robots», en Proceedings 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings (Cat. No.00CH37065), 2000, vol. 4, pp. 3925-3930 vol.4.

[30] S. Hrabar y G. S. Sukhatme, «A comparison of two camera configurations for optic-flow based navigation of a UAV through urban canyons», en 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (IEEE Cat. No.04CH37566), 2004, vol. 3, pp. 2673-2680 vol.3.

[31] C. Drocourt, E. Brassart, B. Marhic, y L. Delahoche, «Processing with omnidirectional vision sensors (some examples) », en 2006 1ST IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics, 2006, pp. 145-150.

[32] R. Guo, L. Han, y X. Cheng, «Omni-directional vision for robot navigation in substation environments», en 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2009, pp. 1272-1275.

[33] I. F. Mondragón, P. Campoy, C. Martínez, y M. Olivares, «Omnidirectional vision applied to Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) attitude and heading estimation», Robot. Auton. Syst., vol. 58, n.o 6, pp. 809-819, jun. 2010.

[34] T. Haus, M. Orsag, y S. Bogdan, «Visual Target Localization with the Spincopier», J. Intell. Robot. Syst., vol. 74, n.o 1, pp. 45-57, abr. 2014.

[35] B. Tripp, S. Singh, y B. Selby, «Optimization and Rapid Prototyping of Catadioptric Omnidirectional Stereo Sensors», J. Intell. Robot. Syst., vol. 3-4, n.o 86, pp. 467-483, dic. 2016.

[36] L. von Stumberg, V. Usenko, J. Engel, J. Stückler, y D. Cremers, «From monocular SLAM to autonomous drone exploration», en 2017 European Conference on Mobile Robots (ECMR), 2017, pp. 1-8.

[37] Yerai Berenguer, Mónica Ballesta, Luis M. Jiménez, y Sergio Cebollada, Actas de XXXVIII Jornadas de Automática. Oviedo: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo, 2017.

[38] J. A. Garcia-Pulido, G. Pajares, S. Dormido, y J. M. de la Cruz, «Recognition of a landing platform for unmanned aerial vehicles by using computer vision-based techniques», Expert Syst. Appl., vol. 76, pp. 152-165, jun. 2017.

[39] L. Payá, A. Gil, y O. Reinoso, «A State-of-the-Art Review on Mapping and Localization of Mobile Robots Using Omnidirectional Vision Sensors», Journal of Sensors, 2017. [En línea]. Disponible en:

<https://www.hindawi.com/journals/js/2017/3497650/abs/>. [Acedido: 26-nov-2018].

[40] T. T. Mac, C. Copot, R. D. Keyser, y C. M. Ionescu, «The development of an autonomous navigation system with optimal control of an UAV in partly unknown indoor environment», Mechatronics, vol. 49, pp. 187-196, feb. 2018.

[41] R. P. Padhy, S. Verma, S. Ahmad, S. K. Choudhury, y P. K. Sa, «Deep Neural Network for Autonomous UAV Navigation in Indoor Corridor Environments», Procedia Comput. Sci., vol. 133, pp. 643-650, ene. 2018.

[42] S. Kawabata et al., «Autonomous Flight Drone with Depth Camera for Inspection Task of Infra Structure», Hong Kong, p. 5, 2018.

[43] A. Kamath, «Obstacle Distance Estimation for UAV Collision Avoidance using Two-View Geometry with a Fisheye Camera», 2018.

[44] F. Bravo-Valenzuela y M. Torres-Torriti, «Comparison of panoramic stereoscopic sensors based on hyperboloidal mirrors», en 2009 6th Latin American Robotics Symposium (LARS 2009), 2009, pp. 1-8.