

Uso de Aeronaves no Tripuladas para el Monitoreo y Control de Taludes Inestables

Luz Adriana Castro Torres

Trabajo De Grado Para Optar Al Título De Ingeniera Civil

Director

Sandra Milena Cote Vargas

Magister Ingeniería Civil

Universidad Industrial De Santander

Facultad De Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela De Ingeniería Civil

Ingeniería Civil

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

A mis abuelos, Lydia Helena Madero de Castro (QEPD) y José Bercelino Castro Sierra (QEPD), por caminar a mi lado a lo largo de casi toda mi carrera, por insistirme y creer siempre en mí, por recordarme en soñar en grande y trabajar duro para alcanzar mis metas.

A mis padres Wilson Castro, Liliana Patricia Torres y Jose alexander Bermon Rico por su apoyo incondicional y por el esfuerzo que pusieron en mí para hacer realidad esta meta.

A mi hermana Diana Lucia Castro Torres por siempre estar presente.

A Blanca Inés Delgado, Gumer Báez y Melissa Báez, mi segunda familia por siempre creer en mí.

A mis amigos más cercanos que están a mi lado desde el comienzo de este viaje y que hoy en día celebran mis logros a mi lado.

Agradecimientos

Primeramente, a la Universidad Industrial de Santander por toda la formación profesional impartida en estos años.

A la ingeniera Sandra Milena Cote, directora del proyecto por brindarme su acompañamiento, conocimiento y confianza para desarrollar este proyecto de grado enfocada en el mejor desempeño personal y profesional.

Y en general a todos los profesores y personas que han puesto su grano de arena a lo largo de mi carrera de pregrado.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción.....	12
1. Objetivos	16
1.1. Objetivo general	16
1.2. Objetivos específicos	16
2. METODOLOGÍA.....	17
3. MARCO TEÓRICO.....	18
3.1. Taludes y estabilidad.....	21
3.2. Tipos de falla de los taludes	23
3.2.1. Falla rotacional	23
3.2.2. Deslizamiento superficial (creep).....	24
3.2.3. Falla traslacional.....	24
3.2.4. Falla por flujo	24
3.2.5. Falla por licuación	25
3.3. Factores que influyen en la estabilidad de un talud.....	25
3.3.1. Aguas lluvias	25
3.3.2. Erosión	25
3.3.3. Movimientos o sismos	25
3.3.4. Geología del suelo	26
3.3.5. Mecánica de los suelos.....	26
3.3.6. Rellenos o terraplenes.....	26
3.3.7. Cargas externas.....	26

3.4.	Panorama colombiano.....	26
3.5.	Fotogrametría	27
3.6.	Drones	29
3.6.1.	Tipos de drones según clasificación	29
	Aeronaves no tripuladas de ala fija.....	30
	Aeronaves no tripuladas rotatorias.....	30
3.6.2.	Aplicabilidad	30
	30	
3.6.3.	Ventajas y desventajas	31
3.6.4.	Características y costos de las aeronaves no tripuladas más utilizadas en el mercado	
	31	
4.	Panorama internacional – consulta bibliográfica.....	36
5.	Síntesis de la información internacional de drones para el monitoreo de taludes.....	42
6.	Planteamiento de metodología para el uso de aeronaves no tripuladas en Colombia	
	48	
6.1.	Parte 1: Selección del dron.....	49
	Características de un dron:	49
	Resolución de la cámara.....	49
	Sensores de alta precisión.....	49
	Autonomía	49
	Resistencia a condiciones climáticas	50
	Incorporación de software	50
6.2.	Parte 2: Reglamento colombiano.....	50

6.3.	Parte 3: Cómo programar el vuelo del dron, software a utilizar y datos de entrada..	50
6.4.	Parte 4: Cómo se procesan los datos que arroja el dron	51
6.5.	Parte 5: Análisis de los datos arrojados	51
	CONCLUSIONES	51
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
	Apéndices	58

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Cuadro comparativo aeronaves no tripuladas de ala fija y rotatorias</i>	31
Tabla 2 <i>Revisión bibliográfica internacional</i>	36

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Clasificación taludes</i>	23
Figura 2 <i>Clasificación uav según su aerodinámica</i>	29
Figura 3 <i>Aplicabilidad aeronaves de ala fija y de ala rotatoria</i>	30
Figura 4 <i>DJI phantom 4 RTK</i>	32
Figura 5 <i>DJI mavic 2 Pro</i>	33
Figura 6 <i>Yunnec H520E RTK</i>	33
Figura 7 <i>SenseFly eBee X</i>	34
Figura 8 <i>Autel Evo II PRO</i>	35
Figura 9 <i>Parrot Anafi</i>	35
Figura 10 <i>Resultado de encuesta de aplicación de drones en la construcción</i>	46
Figura 11 <i>Propuesta de metodología aplicada</i>	48

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A. Bibliografía internacional encontrada.....	58
Apéndice B. Variables para la elección de un dron para monitoreo de taludes	59
Apéndice C. Cartilla.....	61

Resumen

Título: Uso de aeronaves no tripuladas para el monitoreo y control de taludes inestables *

Autor: Luz Adriana Castro Torres**

Palabras Clave: UAV, Taludes, Fallas, Estabilidad, Fotogrametría

Descripción: El presente proyecto de investigación se basa en la utilización de aeronaves no tripuladas (UAV Unmanned aerial vehicle) aplicadas a una rama específica de la ingeniería civil la cual es el monitoreo y control de taludes inestables. Las tecnologías aplicadas a la ingeniería civil se han desarrollado de manera exponencial con el paso del tiempo, las nuevas herramientas (aparatos, estructuras, software, entre otros) permiten mejorar y avanzar en muchos de los campos de la ingeniería civil ayudando a obtener resultados mejores y más eficaces. Los drones son vehículos aéreos no tripulados los cuales pueden ser manejados por un ser humano de manera remota, en la actualidad los drones son herramientas con infinitos usos, características y aplicaciones que van a depender de su forma, tamaño, función, entre otros. Los drones como un apoyo o complemento a diferentes tareas ya sean civiles, militares o topográficas tienen un gran potencial por las ventajas y beneficios que poseen sobre otros tipos de tecnologías o incluso que el recurso humano. En este proyecto de grado lo que se quiere hacer es plantear una metodología aplicada al monitoreo de los taludes inestables en Colombia y para esto se debe realizar una búsqueda y recopilación de información de conceptos como: ingeniería civil, taludes, fallas, estabilización, aeronaves no tripuladas, fotogrametría, entre otros.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Ingeniería civil. Director: Sandra Milena Cote Vargas. Magíster Ingeniería Civil.

Abstract

Title: Use of Unmanned Aerial Vehicles for Monitoring and Controlling Unstable Slopes*

Author(s): Luz Adriana Castro Torres**

Key Words: UAV, Slopes, Failures, Stability, Photogrammetry

Description: The present research project is based on the utilization of unmanned aerial vehicles (UAVs) applied specific to civil engineering, which is the monitoring and control of unstable slopes. Technologies applied to civil engineering have developed exponentially over time. New tools (devices, structures, software, among others) allow for improvement and advancement in many fields of civil engineering, helping to achieve better and more efficient results. Drones are unmanned aerial vehicles that can be remotely operated by a human being. Currently, drones are versatile tools with a myriad of uses, characteristics, and applications that depend on their shape, size, function, among other factors. Drones, as a support or complement to various tasks, whether civilian, military, or topographic, have great potential due to the advantages and benefits they possess over other types of technologies or even human resources. The aim of this undergraduate project is to propose a methodology applied to the monitoring of unstable slopes in Colombia. To achieve this, a search and compilation of information on concepts such as civil engineering, slopes, failures, stabilization, unmanned aerial vehicles, photometry, photogrammetry, among others, must be carried out.

* Degree Work

**Faculty of Physical and Mechanical Sciences. School of Civil Engineering. Civil Engineering. Director: Sandra Milena Cote Vargas. Master of Civil Engineering

Introducción

“El sentimiento de impotencia frente a los desastres naturales se multiplica en los países en vías de desarrollo, se estima que en los próximos 25 años el 85 % de la población de Latinoamérica residirá en áreas urbanas inestables”. En estados unidos los deslizamientos de tierra generan aproximadamente \$3.5 mil millones de dólares en daños y entre 25 a 50 pérdidas de vidas humanas cada año.

Las causas de un deslizamiento de tierra en un talud, artificial o natural, pueden deberse a fenómenos naturales como lluvias, inundaciones y movimientos de placas tectónicas; pero también las causas se pueden encontrar en modificaciones realizadas por los humanos como deforestación, cortes o excavaciones y desplazamiento de tierra para algún proyecto ingenieril.

A raíz de la inestabilidad y los deslizamientos de los taludes nace la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías que permitan mitigar catástrofes y en algunos casos prevenirlas. Las investigaciones en este ámbito avanzan a grandes pasos mayoritariamente en predicción y ocurrencia, un bache que se encuentra en el camino de estas investigaciones es la manera y tiempo de obtener datos exactos sobre la zona de estudio; hay lugares los cuales van a tener un acceso más complicados que otros y todos estos factores influyen cuando se habla de investigar el talud y encontrar el factor que está provocando la inestabilidad. (Flores, Saito, Paredes, & Trujillano, 2017).

Producidos originalmente en el entorno militar, los drones o vehículos aéreos no tripulados son cada vez más comunes en nuestra sociedad, usándose con propósitos recreativos, académicos e industriales.

Con el paso de los años el desarrollo y avance de la tecnología ha abierto puertas para que nuevas aplicaciones puedan tener campo de acción en la ingeniería civil. Las aeronaves no tripuladas, la fotogrametría y las tecnologías de geoposicionamiento entran a la industria a apoyar y en algunos casos facilitar los procedimientos de la ingeniería. Con estas nuevas propuestas se entrar a analizar nuevas metodologías que permiten integrar datos e información para obtener modelos más eficientes.

La utilización de aeronaves no tripuladas es una tecnología que se va introduciendo cada vez más a muchos ámbitos de aplicación, entre esos las obras civiles. se ha demostrado con la investigación que esta nueva tecnología del uso de las aeronaves no tripuladas en la ingeniería civil es una manera muy versátil y adaptable para ofrecer soluciones a las causas que puede tener un deslizamiento de tierra, para monitorear taludes cuando se enfrenta a algún desastre natural y para controlar los taludes inestables a medida que el tiempo pasa.

Antecedentes

“Un talud es una superficie inclinada de terreno y modificada artificialmente mediante excavación o relleno para configurar la explanación de la carretera o de sus elementos funcionales.” Un talud se entiende como una superficie de tierra a la cual se le ha modificado artificialmente su perfil, debido a esto se deben utilizar técnicas de monitoreo y estabilización para evitar derrumbes. Los derrumbes son situaciones de inestabilidad consecuencia de la modificación de la pendiente de un talud.

Durante la última década la amenaza de deslizamiento en taludes es uno de los fenómenos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año. Los taludes o porciones de tierra son un elemento necesario para la implementación de las estructuras civiles, un deslizamiento o

movimiento de tierra que inicialmente era estable, con el paso del tiempo y con la contribución de diferentes factores como el clima, el nivel freático, entre otros; se puede volver inestable y tener una afectación negativa en la estructura civil construida o en las vidas humanas. El poco desplazamiento de un talud o la aparición de una grieta puede hacer que todo un talud falle lo cual va a implicar que haya algún tipo de deslizamiento o rotura y esta es la problemática a la cual se le quiere entrar a dar solución.

El estudio para el monitoreo y control de estos taludes inestables consta de diferentes tipos de variables las cuales afectan directamente la manera como se deben monitorear para obtener los resultados que se quieren. Cada talud es diferente porque cada suelo es diferente y cada porción de tierra es diferente, las variables como el ángulo de inclinación, las cargas externas, el nivel freático, la composición del suelo y el factor de seguridad son algunas de las que van a entrar a ser nombradas cuando de controlar y estabilizar un talud se está hablando.

El planeta tierra y la humanidad avanza a pasos agigantados cada día y el ámbito de la ingeniería civil y construcción no es una excepción, lo que se busca cada día es incluir algún nuevo método/software/herramienta que permita innovar, potenciar y apoyar los procesos civiles. La rama específica de la estabilidad de taludes no se queda atrás si de avances se trata, específicamente en la rapidez y en el tiempo de ocurrencia de estos deslizamientos, pero se sabe que los métodos de investigación, monitoreo y control actuales son limitados en cuanto a que tan rápido y que tan detallada y precisa puede ser la información que se obtiene sobre la zona que se está estudiando, las limitaciones se incrementan aún más cuando se trata de lugares que son físicamente inaccesibles para personas o cuando lo que se quiere es estudiar problemas de inestabilidad de grandes extensiones de terreno en los cuales es necesario buscar la causa del deslizamiento y continuar controlando periódicamente los cambios.

Actualmente la forma de monitoreo más utilizadas es la inspección visual la cual consiste en que una persona capacitada haga recorridos con cierta frecuencia para así poder estar monitoreando un talud, esta tarea se complica cuando es un sitio de difícil acceso y puede incluso llegar a poner en riesgo la vida del personal capacitado, pero de igual manera el monitoreo se deberá seguir haciendo independiente del método que se utilice.

Un dron se define como “aeronave no tripulada”. Los drones, que inicialmente se utilizaron en el ámbito militar, han expandido su campo de acción hoy en día son más comunes en la sociedad. El acelerado desarrollo tecnológico en la aeronáutica ha hecho de los drones aparatos más pequeños, más silenciosos, de vuelo más ágil, integrados con potentes cámaras y muy completos.

Actualmente existe un amplio campo de acción para los drones, desde recreación y toma de fotografías hasta el apoyo a ingenierías que es el campo de acción del cual se habla en este texto, las aeronaves no tripuladas han entrado a apoyar la ingeniería civil desde la toma de fotos y videos promocionales o de inspección hasta el apoyo con levantamientos topográficos y creación de mapas.

A raíz de los grandes avances que se han venido realizando a través de los años, las aeronaves no tripuladas se pueden utilizar para tener una mayor capacidad de observación o intervención a lugares físicamente inaccesibles o que simplemente ponen en riesgo la vida de los seres humanos. Esto hace que una de las características más significativas de las aeronaves no tripuladas sea la capacidad de acceder a lugares donde el ser humano no puede llegar.

Justificación

Antes de comenzar una estructura civil se debe evaluar si el lugar en donde va a estar ubicada requiere de la generación de un talud o si ya hay alguna superficie de tierra inclinada en

este. Para hacer esta evaluación de este talud se requiere hacer estudios de suelos, de niveles creativos, de esfuerzos e inclinaciones, entre otros.

Basados en todos estos estudios se entra a generar una estabilización para el talud, cada talud tiene características diferentes y es a criterio de los ingenieros la manera como este se va a estabilizar. Que un talud se estabilice cuando se comienza con un proyecto de ingeniería no garantiza que vaya a continuar estable a lo largo del paso del tiempo.

Para garantizar la estabilidad y el no deslizamiento de esta porción de tierra se debe estar en un constante monitoreo y control, revisando periódicamente las características del suelo, movimiento, grietas, roturas, desplazamientos, presiones de agua, etc. En la actualidad se tienen varios métodos para el monitoreo de los taludes, el método más utilizado es la inspección visual, la cual conjunta con mediciones con inclinómetros, extensómetros, piezómetros, entre otros, van a dictaminar como se debe proceder respecto al talud.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Proponer una metodología para la implementación de aeronaves no tripuladas en el monitoreo y control de taludes inestables en Colombia.

1.2. Objetivos específicos

Recopilar información internacional y nacional de naves no tripuladas aplicadas al monitoreo y control de taludes inestables.

Sintetizar la información recopilada para la futura aplicabilidad en el monitoreo y control de taludes inestables con aeronaves no tripuladas en Colombia.

Proponer una metodología aplicada para el uso de aeronaves no tripuladas para el monitoreo y control de taludes inestables en Colombia

2. METODOLOGÍA

- Recopilar información internacional y nacional de naves no tripuladas aplicadas al monitoreo y control de taludes inestables.

Realizar capacitaciones en búsqueda de información en bases de datos a nivel nacional e internacional.

Desarrollar una revisión bibliográfica de naves no tripuladas (definición y tipos) aplicada a la ingeniería civil.

Identificar y desarrollar tipos de fallas más comunes para los taludes a nivel nacional.

Buscar y recopilar información bibliográfica del uso en la estabilización de taludes de las naves no tripuladas nacional e internacionalmente.

- Sintetizar la información recopilada para la futura aplicabilidad en el monitoreo y control de taludes inestables con aeronaves no tripuladas en Colombia.

Desarrollar una síntesis de los tipos de naves no tripuladas y sus características necesarias para el uso en monitoreo de taludes.

Identificar desde la teoría la viabilidad de la implementación de naves no tripuladas para monitoreo de taludes en Colombia.

Inspeccionar los beneficios de esta implementación de naves no tripuladas en Colombia.

Identificar cuáles de estas ventajas son las más significativas para la aplicación de esto en Colombia.

- Proponer una metodología aplicada para el uso de aeronaves no tripuladas para el monitoreo y control de taludes inestables en Colombia.

Ejecutar una investigación de como plantear una metodología a manera de entregable.

Enunciar las ventajas más significativas para poner en práctica la utilización de aeronaves no tripuladas para monitoreo de taludes inestables en Colombia.

Identificar la viabilidad de utilización de naves no tripuladas desde el punto de vista de características y costos.

Digitalizar un entregable con la metodología para la aplicación de las aeronaves no tripuladas para monitoreo de taludes inestables en Colombia

3. MARCO TEÓRICO

Los movimientos de tierra son fenómenos geológicos que son causados por la inestabilidad del suelo. Los procesos geotécnicos activos de los taludes corresponden más que todo a movimientos que describen la misma dirección de la gravedad, específicamente llamada “laderas abajo”, estos movimientos pueden ser de rocas, suelo natural, relleno o las combinaciones de ellos. Todos los movimientos de tierra tienen una capa por la cual van a fallar, a esta capa se le llama la superficie de falla; La superficie de falla es la superficie que divide los materiales que pueden deslizarse y la parte de suelo que no se mueve en caso de una falla, estos movimientos de tierra se generan, en casi todos los casos, sobre esta superficie de falla. El movimiento de tierra, o deslizamiento son una gran problemática presente en todo el mundo, problemática de anualmente cobra miles de vidas y daños a propiedades por valores muy elevados. Estos movimientos son muy inciertos porque las características de la tierra pueden cambiar en cuestión de días. Zonas que inicialmente se habían categorizado como estables se

puede volver inestables por muchos factores tanto naturales como artificiales creados por el humano.

La ingeniería civil, más específicamente la rama de los taludes tiene retos a diario para lograr que una estructura ya construida o próxima a construir cuente con una seguridad completa respecto a movimientos de tierra. La falla de un talud se puede presentar tanto en taludes naturales como en taludes construidos por los seres humanos. Variables como el clima y los desastres naturales pueden influir en la estabilidad de un talud, estamos hablando de modificaciones en la topografía, modificaciones en el flujo de agua, cambios en resistencia y esfuerzos, entre otros factores.

Los monitoreos de los taludes están orientados a definir las características topográficas del suelo y las características físicas y químicas de este; con el monitoreo también se quiere definir las variaciones de desplazamientos, niveles freáticos, cambios de estabilidad, entre otros. El factor de seguridad (FS) es lo que se utiliza para el estudio de la estabilidad de los taludes, el factor de seguridad es un valor que se calcula cuando se hace un análisis matemático de la estabilidad. Para hallar este valor se deben tener en cuenta variables como: factores geológicos, geometría de talud, niveles freáticos, cargas sísmicas, entre otros. Para el estudio de este factor de seguridad existen diferentes métodos para analizar los datos como: equilibrio limite, método de Fellenius, método de Bishop, método de Janbú, método de talud finito, entre otros. Los métodos actualmente convencionales para realizar el monitoreo de estabilidad de taludes comprenden: mapeos de los taludes, la inspección visual, el mapeo de grietas de tensión y estaciones totales, estos métodos están orientados a medir el desplazamiento del talud. Desde un punto más tecnológico y avanzado se tienen los radares de estabilidad de talud (SSR) los cuales se presentan como una tecnología moderna de sensores remotos que permiten el monitoreo de

grades áreas de un talud sin necesidad de estar en constante contacto humano con este. La finalidad del monitoreo y el análisis de estabilidad de un talud es evaluar la posibilidad de que se presente una falla que pueda provocar algún deslizamiento o desastre.

En Colombia el monitoreo de los taludes se viene realizando de manera convencional, con los métodos anteriormente enunciados, utilizando equipamiento como: Inclínómetros, piezómetros casa grande, mojones topográficos y fotografías aéreas.

En los últimos años, el desarrollo y avance de las tecnologías en infraestructura del país ha implicado la ejecución de obras de mayor complejidad, obras que al ser superiores van a requerir mayores estándares de calidad. Para lograr estudiar, monitorear de cerca y con precisión el comportamiento del suelo y las obras de construcción, la instrumentación geotécnica y estructural juegan un papel fundamental para comprender y tomar decisiones ante comportamientos anormales que ponen en peligro vidas humanas y la estructura misma.

Las aeronaves no tripuladas, como un avance tecnológico, lo que entrar a hacer a la ingeniería civil a manera de innovación es entrar a apoyar esta supervisión y monitoreo de los taludes para poder analizar, predecir y mitigar muchas de las malas consecuencias que vienen cuando un talud o una porción de tierra se mueve. Las naves no tripuladas mayormente son utilizadas para el monitoreo a distancia, para la captura de fotografía del talud y para la recolección de topografía de este.

Estas aeronaves pueden traer muchos beneficios y ventajas que lo que va a hacer es mejorar y dar un paso hacia el avance en la estabilización de taludes no solo de maneras técnicas, sino también en el ámbito económico.

3.1. Taludes y estabilidad

Los taludes se definen como pendientes o inclinaciones con respecto a la horizontal las cuales se pueden encontrar tanto en terrenos naturales (laderas) como en terrenos modificados por alguna construcción (terraplén). Los taludes son una característica topográfica presente en cualquier tipo de área, lugar o suelo.

La estabilidad del suelo y las características del terreno son algunas de las variables que van a afectar la composición de un talud, dentro de la composición de un talud se tiene: el ángulo de inclinación, la forma, la posible falla, entre otras.

La estabilidad se define como “cualidad de estable” y esto significa “que se mantiene invariable o inalterable en el mismo lugar, estado o situación”. Con esto se puede entrar a definir la estabilidad de un talud como la característica que hace que este no sea variable. La estabilidad de un talud en la ingeniería civil es la característica más importante para diseñar y estudiar ya que esta garantiza la preservación de alguna estructura o simplemente la seguridad de un lugar. La ingeniería civil y la geología son los estudios encargados de analizar la estabilidad de un talud.

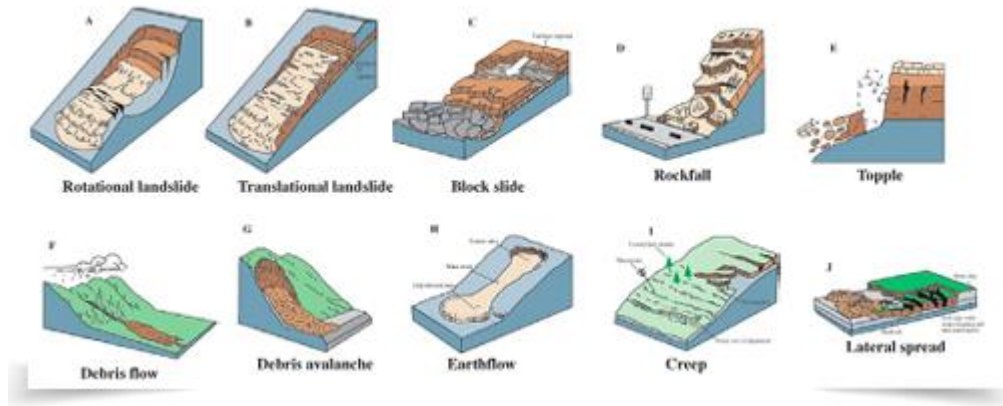
Un talud, ya sea natural o hecho por humanos, puede volverse inestable y experimentar fallas, aunque ya este estabilizado, el nivel freático, los movimientos de suelo y las características del suelo son algunas de las variables que pueden hacer que un talud se vuelva inestable.

Enfocando un poco la definición a la ingeniería civil, los proyectos de ingeniería requieren el diseño de taludes ya sea quitando o excavando terreno (corte) o rellenando una zona que se necesite(terraplén).

Cuando se estudia un fenómeno de estabilidad de un talud se necesita identificar las partes del talud y caracterizar los tipos de comportamiento de ese talud para con esto poder hacer su respectiva clasificación para su posterior análisis. Si se hace un análisis adecuado del desprendimiento o falla se puede sacar el máximo provecho a la estabilización y contención del talud. Se debe ser cuidadoso al momento de caracterizar el talud ya que una incorrecta caracterización puede dar lugar a soluciones que no son correctas, ineficaces o contraproducentes y esto puede traer consecuencias en daños a estructuras, vidas humanas y costos económicos elevados.

La finalidad del estudio de estabilidad de un talud es estimar la posibilidad de que el talud presente movimiento de tierra y consecuente a esto haya una falla y desprendimiento de suelo. Con el estudio de la estabilidad se quiere asegurar que el diseño de rellenos o terraplenes, que puedan llegar a afectar la estabilidad del talud, se haga de una manera que no se ponga en juego la seguridad de la estructura o de las personas y sea económicamente viable

Los taludes tienen una clasificación la cual se remonta a 1988 propuesta por Varnes el cual basa esta clasificación en la falla que se presenta, el mecanismo de rotura y como se genera el movimiento después de la rotura.

Figura 1*Clasificación taludes*

Nota: Tomado de Varnes (1988).

Cuando se está estudiando un talud unas de las características que más se deben tener en cuenta son: la resistencia, magnitud de fuerzas, momentos actuantes y momentos resistentes, para hacer todo este análisis de estabilidad se debe buscar relacionar todas las variables con el fin de calcular un factor de seguridad, cada talud va a tener un diferente factor de seguridad. Para este cálculo y estudio se debe tener claro que todos los suelos y las características de estos tienen un rango de incertidumbre por lo tanto este factor de seguridad que se quiere estudiar está condicionado siempre por este factor de incertidumbre.

3.2. Tipos de falla de los taludes

Para entender los tipos de falla primero se debe tener en cuenta la nomenclatura de un talud y la nomenclatura de una zona de falla.

3.2.1. Falla rotacional

Se define como la falla en la cual el movimiento de tierra se produce en una superficie curva, la forma de esta falla se acerca a la forma de una circunferencia. Se debe tener en cuenta que esta falla abarca una masa considerable de suelo. Esta falla es comúnmente encontrada en

materiales arcillosos homogéneos. La falla por rotación puede afectar al talud de manera muy profunda y esto va a depender de la pendiente de este.

Dependiendo de la profundidad, la superficie de falla y la geometría, estas fallas se pueden clasificar en:

- Falla local: la superficie de falla esta entre el hombro y el pie, no corta el pie del talud.
- Falla de pie: la superficie de falla corta el pie del talud.
- Falla de base: la superficie de falla corta tanto el pie como el hombro del talud

3.2.2. Deslizamiento superficial (creep)

Este tipo de falla no tiene una superficie de falla definida, presenta grandes movimientos de suelo, pero no tiene una transición brusca entre la superficie inmóvil y el suelo que se deslizar. Es movimiento lento que se produce laderas abajo, es un movimiento mas o menos continuo e involucra grandes áreas.

Hay dos tipos de clasificación para esta falla según Terzahgi (1948): Estacional: afecta solo la corteza superficial. Masivo: afecta capas más profundas de suelo.

3.2.3. Falla traslacional

Esta falla se caracteriza por un movimiento de suelo sobre una superficie plana la cual está relacionada a estratos no tan resistentes del suelo, esta falla comúnmente se localiza cerca al pie del talud. La superficie de falla se genera de manera paralela a los estratos del suelo. La variable crucial para que se genere este tipo de falla es la presión de poros del estrato del suelo.

3.2.4. Falla por flujo

Se le da este nombre porque los movimientos que se presentan en el talud se asemejan a el comportamiento de un líquido viscoso. Esto quiere decir que las velocidades y

desplazamientos se acercan a las de un líquido viscoso. En este tipo de deslizamiento la superficie de falla no se puede distinguir ya que el movimiento ocurre en un muy corto tiempo. La falla por flujo mayormente se presenta cuando se genera un aumento considerable del contenido de agua del suelo.

3.2.5. Falla por licuación

Esta falla se produce cuando hay una disminución de resistencia a los esfuerzos cortantes de un suelo, el talud en este tipo de falla se desliza gracias a esto.

3.3. Factores que influyen en la estabilidad de un talud

De acuerdo con M. Budhu (2007) los principales factores que van a influir en un talud, ya sea natural o creado, son:

3.3.1. Aguas lluvias

Los taludes en temporadas de lluvias se pueden ver afectados al saturarse el suelo lo cual va a hacer que el peso aumente y por consiguiente la fuerza cortante disminuya. Pueden aparecer fuerzas debido a fallas de filtración de agua y junto con el aumento de las fuerzas actuantes hacen que el talud falle.

3.3.2. Erosión

La erosión es causada por factores como el viento y el agua modificando así la geometría del talud y los esfuerzos a los cuales está sometido el talud lo cual puede llegar a causar que el nuevo talud generado falle.

3.3.3. Movimientos o sismos

Cuando se presenta un sismo, en el talud van a aparecer fuerzas y esfuerzos dinámicos los cuales van a hacer que las fuerzas y esfuerzos cortantes que ya existían disminuyan debilitando el suelo y dejándolo propenso a fallar.

3.3.4. Geología del suelo

La naturaleza del suelo del cual está compuesto un talud es un factor determinante para la estabilidad, hay que tener un buen estudio y exploración del suelo antes del talud y continuar con monitoreos regulares para evaluar si la incertidumbre del factor de seguridad va a aumentar.

3.3.5. Mecánica de los suelos

La presión de poros y los vaciados son características del suelo que de ser modificadas por aspectos naturales pueden hacer que las características del talud cambien y por lo tanto que haya posibilidad de falla

3.3.6. Rellenos o terraplenes

Las construcciones (rellenos o terraplenes), realizadas más que todo en el pie del talud, o la inclusión de una sobre carga puede hacer que los esfuerzos del talud se modifiquen y causar así una falla.

3.3.7. Cargas externas

La aplicación de cargas sobre la corona o cabeza del talud puede un aumento de las fuerzas actuantes lo cual puede llevar a la falla del talud.

3.4. Panorama colombiano

Las fallas de taludes en Colombia representan una amenaza, que no pasa desapercibida, para la población y la para infraestructura colombiana. En Colombia, al ser un país de terrenos montañosos y con muchos cambios de pendiente, el tipo de falla más común es el deslizamiento superficial o creep, lo cual produce que una masa de suelo se desprenda y se deslice a lo largo de una pendiente generando movimientos que en su mayoría no tienen mucha velocidad, la velocidad de las fallas va a depender de las fuerzas que estén actuando sobre el talud, las características del suelo y las condiciones geológicas del lugar.

3.5. Fotogrametría

La Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS) define la fotogrametría como “la ciencia encargada de realizar mediciones confiables por medio de fotografías para obtener características métricas y geométricas del objetivo fotografiado”, y la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS) define la fotogrametría como “el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante u otros fenómenos” Con estas definiciones se entiende a la fotogrametría como la técnica que va enfocada al estudio y la definición de las dimensiones, la forma y la posición de un objeto posicionado en alguna parte del espacio, estas mediciones siempre buscan ser con precisión lo que quiere decir que son las más acertadas posibles; estos datos se van a obtener a través de la medición de fotografías.

Lo que busca la fotogrametría es medir objetos y generar información tridimensional partiendo de una imagen. Esta ciencia combina principios de la geometría y la trigonometría con técnicas de procesamiento de imágenes y softwares para generar modelos en 3D de lo que se necesite. Algunas de las aplicaciones que tiene la fotogrametría se encuentran en la topografía, arquitectura, cartografía, ingeniería, agricultura, geología, entre otras.

La fotogrametría y la topografía se juntan y relacionan para dar apoyo y facilidad a los topógrafos e ingenieros civiles. Antes de que los drones entraran a tener un papel en la topografía se utilizaban helicópteros y avionetas para obtener las fotografías usadas en la topografía, pero el costo de esta práctica era elevado, también se utilizaban las fotografías satelitales, pero al tener una no muy alta definición era una tarea difícil obtener datos cercanos a los exactos. A medida que los avances en estos dos ámbitos van saliendo a la luz se puede ver que los drones entran a

tener un papel muy importante en la topografía y por ende en la fotogrametría, la fotogrametría con drones es la técnica utilizada para hacer las mediciones (medidas, formas y posición) de objetos a través de las imágenes que los drones captan, estudiando estas imágenes y con datos de los terrenos se puede llegar a obtener mediciones en 3D y con esto se pueden generar planos y mapas con una precisión muy alta.

Existen varios puntos a favor sobre el uso de las aeronaves no tripuladas en la topografía, los que más destacan son la rapidez con la cual se obtienen las imágenes y los datos, los costos de las operaciones son mucho más reducidos comparados con la toma de fotografías manualmente, otra ventaja es que esta práctica da seguridad a los operarios ya que las tareas se pueden realizar de manera remota y no es necesario que los operarios recorran físicamente los sitios y terrenos que en algunos casos implican riesgos, otra ventaja es que con esta tecnología se pueden trabajar terrenos de grandes extensiones en poco tiempo.

La fotogrametría tiene muchas áreas de aplicación, en este caso el área de interés es la ingeniería y obras civiles, esta fotogrametría actualmente se aplica a: planeación urbana, diseños, alcantarillado, carreteras, entre otros. Aplicar la fotogrametría implica reducir costos económicos y reducir tiempo con la garantía de que se obtendrán resultados muy precisos.

La estabilidad de taludes es un tema principal en la ingeniería civil y en la ingeniería geotécnica, esta va directamente ligada a la seguridad de la infraestructura y a la gestión de riesgos geológicos. La fotogrametría entra de la mano con la estabilidad de taludes y los drones como una técnica de medición y generación de mapas a partir de fotografías tomadas por los drones, junto todo esto crea una herramienta valiosa para el monitoreo y control de taludes inestables.

3.6. Drones

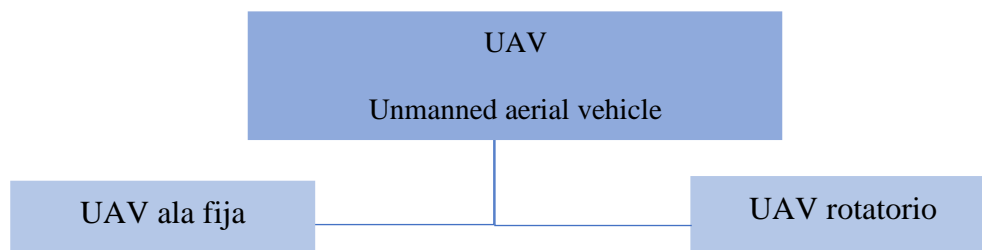
El término “Vehículo aéreo no tripulado” cuyo significado en inglés es “Unmanned Aerial Vehicle UAV” salió a flote en los años noventa. El ministerio de defensa de los estados unidos lo define como: “vehículo aéreo motorizado que no lleva a bordo un operador humano, que utiliza fuerzas aerodinámicas para generar la sustentación, puede volar autónomamente o ser tripulado de forma remota, puede ser fungible o recuperable, y que puede trasportar una carga de pago letal o no.”

Las aeronaves no tripuladas muestran su primera aparición en el siglo XIX cuando los principales precursores de la aviación comienzan a construir y volar sus propios modelos de naves que no necesitaban un tripulante. La invención y creación de estas naves se inclinaba más a fines militares que cada uno de los países involucrados en las guerras mundiales tenían. De acuerdo con la historia se puede afirmar que los precursores de las aeronaves no tripuladas son los torpedos aéreos, los cuales se diseñaron para ser controlados por radio, el mayor reto en ese momento era crear un objeto el cual tuviera estabilización y navegación autónoma y el control remoto, con la invención de los giroestabilizadores se logró solucionar estos retos y darles paso a los drones.

3.6.1. Tipos de drones según clasificación

Figura 2

Clasificación UAV según su aerodinámica



Aeronaves no tripuladas de ala fija

Las aeronaves no tripuladas de ala fija son aparatos voladores que se utilizan mayormente cuando se tiene una extensión de terreno bastante grande, estos tipos de aeronaves son de alta velocidad y pueden cubrir gran parte de terreno en poco tiempo. Estos tipos de aeronaves se pueden clasificar dependiendo de la ubicación de su ala.

Aeronaves no tripuladas rotatorias

Las aeronaves no tripuladas rotatoria son las cuales se caracterizan por tener rotores los cuales sustituyen las alas lo cual va a dar como resultado un aparato con mayor estabilidad en vuelo y con la capacidad de realizar vuelos estacionarios. Los cuadricópteros son los aparatos que más se ajustan y aconsejan para la utilización en el campo.

3.6.2. Aplicabilidad

Figura 3

Aplicabilidad aeronaves de ala fija y de ala rotatoria

UAV ROTATORIOS VS ALA FIJA		
Audiovisual	√	x
Fotogrametría	√	√
Inspección de la zona	√	x
Vigilancia de estructuras	√	x
Rescate a través de cámaras multispectrales	√	√
Fotografías aéreas oblicuas	√	x

3.6.3. *Ventajas y desventajas*

En el cuadro que se presenta a continuación se muestran las ventajas y desventajas de utilizar aeronaves no tripuladas de ala fija y aeronaves no tripuladas de alas rotatorias. En la ingeniería civil las aeronaves no tripuladas más mencionadas y más utilizadas son las de alas rotatorias pero dado que cada proyecto es diferente hay que hacer una consulta y análisis de cual aeronave va a convenir más para ese proyecto.

Tabla 1

Cuadro comparativo aeronaves no tripuladas de ala fija y rotatorias

UAV			
Aeronaves no tripuladas de ala fija		Aeronaves no tripuladas rotatorias	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Autonomía de vuelo (40 a 120 minutos)	Dificultad de pilotar	Simples de pilotar	Autonomía de vuelo (15 a 35 minutos)
Mayor altura	Aterrizaje y despegue (50 m mínimo)	Aterrizaje y despegue	Menor alcance y longitud
Mayor velocidad	Despegue asistido	Bajo peso	No se pueden utilizar en lluvia
Mas seguro de volar	No vuelo estático	Menor tiempo de entrenamiento	Ruidosos
Estructura simple	Mas costosos	Mas económicos	Batería muy variante dependiendo de velocidad
Menor peso		Vuelos estáticos	
Toma de datos en menor tiempo		Menos distorsión en tomas	

3.6.4. *Características y costos de las aeronaves no tripuladas más utilizadas en el mercado*

Se hace un estudio de las aeronaves no tripuladas más comunes utilizadas para la ingeniería civil y se menciona las características más importantes las cuales son las variables que van a entrar

a ser analizadas al momento de hacer la elección de un dron para un proyecto ingenieril. Se enlistan a continuación los 6 drones más utilizados actualmente para labores de ingeniería civil topografía y geotecnia.

Figura 4

DJI phantom 4 RTK



Cámara: CMOS 20 MPX, obturador mecánico.

Precisión: RTK 1cm + 1ppm.

Batería: 5000 mAh.

Autonomía: 30 min.

Peso: 1.4 Kg.

Costo: 6600 dólares

Figura 5

DJI mavic 2 Pro



Cámara: CMOS 20 MPX.

Precisión: GPS - GLONAAS 2m.

Batería: 3000 mAh.

Autonomía: 31 min.

Peso: 0.9 Kg.

Costo: 3000 dólares.

Figura 6

Yunnec H520E RTK



Cámara: CMOS 20 MPX, lente 23 mm.

Precisión: GPS - GLONASS 1.5m.

Batería: 5200 mAh.

Autonomía: 28 min.

Peso: 1.97 Kg.

Costo: 5000 dólares

Figura 7

SenseFly eBee X



Cámara: SONY UMC-R10C 20.1 MPX.

Precisión: RKT 3cm.

Batería: 3700 mAh.

Autonomía: 90 min.

Peso: 1.1 Kg.

Costo: 11000 dólares.

Figura 8

Autel Evo II PRO



Cámara: CMOS 20 MPX.

Precisión: GPS Y GLONASS 1.5m.

Batería: 5100 mAh.

Autonomía: 40 min.

Peso: 1.4 Kg.

Costo: 2500 dólares.

Figura 9

Parrot Anafi



Cámara: CMOS 21 MPX.

Precisión: GPS Y GLONASS 1.6m.

Batería: 2700 mAh.

Autonomía: 32 min.

Peso: 0.4 Kg.

Costo: 7000 dólares

4. Panorama internacional – consulta bibliográfica

Los drones utilizados en la ingeniería civil son una metodología en auge que está siendo utilizada en muchas partes del mundo, se busca hacer una revisión bibliográfica de como estos aparatos junto con técnicas de fotogrametría y software para recopilar información, estudiarla y entenderla y finalmente plantear una guía general de cómo utilizar estos drones en Colombia. En la tabla a continuación se enuncian los artículos consultados, el año, el país y una breve descripción de cada uno de estos:

Tabla 2

Revisión bibliográfica internacional

Título	País	Año de publicación	Descripción
Utilizing drone technology in the civil engineering	Eslovaquia	2019	Los drones entran a ser herramientas que aumentan la comunicación entre los participantes de la construcción, mejoran la seguridad en el sitio, utilizan mediciones topográficas de áreas grandes y, utilizando los principios de la fotogrametría, lo que ahorra tiempo, brinda seguridad y costos del proyecto.
Application of drones in the architecture, engineering, and construction (AEC) industry	China	2022	Investigación sobre la implementación de los drones en la ingeniería civil, siendo este el segundo mercado más grande de la venta de drones (2020). Este estudio muestra información de los diferentes tipos de drones que puede ser utilizados para la ingeniería civil.
The use of UAVs for civil engineering infrastructures	Italia	2021	Actualmente las tecnologías utilizadas para monitorear intervenciones o inspecciones son diversas, pero la mayoría de ellas son intrusivas y requieren la necesidad de operadores humanos certificados. Estos aspectos crean un riesgo significativo para la

			seguridad y un aumento en los costos, tanto en los pagos a los operadores como en el equipo necesario. Para solucionar estos problemas entran a jugar un papel importante los drones en la construcción.
Drone Use in the Construction Industry Leads to Integration into the Current Civil and Construction Engineering Technology Curriculum	USA	2019	Los drones se han venido utilizando en la ingeniería en aspectos como: seguridad, apoyo, inspección, tomas de medidas y modelamientos 3D. Lo que se trata en el artículo es una revisión de los drones y como se van poco a poco introduciendo estos cada uno de los proyectos de ingeniería.
Classification of Drones	Grecia	2017	El principal objetivo de este artículo es categorizar los drones dependiendo de la tarea específica que deben realizar, mostrando requerimientos mínimos y costos los cuales son un parámetro importante al momento de elegir un tipo de dron.
A view of the future: Drones in construction industry	Mewar	2019	Esta investigación da un panorama de los drones en la industria de la construcción, los usos que tiene actualmente, las leyes de la india para la regulación

			de los drones y el panorama que se tiene proyectado para el futuro.
Fotogrametría con drones, diferentes usos y aplicaciones en la agricultura de precisión	Ecuador	2022	Se hace una investigación sobre las diferentes tecnologías de la fotogrametría con drones apuntadas al sector agrícola para así poder destinar una tecnología especial a la rama de la agricultura que aporte beneficios a esta.
Fotogrametría terrestre con sistemas aéreos autónomos no tripulados	Costa rica	2018	La fotogrametría aérea es una técnica que permite estudiar diferentes zonas geográficas con el fin de extraer información que sea útil para un proyecto de construcción. Con el apoyo de los drones, la fotogrametría aérea trae muchos benéficos a la construcción.
Evaluación del costo y confiabilidad de fotogrametría con drones en obras de alcantarillado en centro poblado imperial Huancavelica	Perú	2021	Mediante una investigación a una obra de alcantarillado se evalúa el costo y la confiabilidad de la topografía tradicional y la topografía y fotogrametría con drones.
Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review	España	2013	Estado del arte sobre los drones aplicados a la fotogrametría. Fotogrametría moderna y sensores remotos van de la mano con un

			potencial muy grande sobre la ingeniería civil.
Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to capture micro-topography of Antarctic moss beds	Australia	2014	Con datos como: fotos, imágenes 3D y observaciones satelitales, se puede hacer relación con los desplazamientos y obtener características geomorfológicas del talud.
Use of unmanned aerial vehicles in monitoring application and management of natural hazards	Suiza	2017	Los drones suelen ser más económicos y versátiles que las técnicas tradicionales de teledetección, por lo que pueden considerarse una buena alternativa para la adquisición de imágenes y otros parámetros físicos antes, durante y después de un evento de riesgo natural.
Multipurpose UAV for search and rescue operations in mountain avalanche events	Italia	2015	Los drones tienen ventajas muy destacables sobre los métodos normales para la toma de imágenes y haciendo una buena elección se puede bajar los costos y aumentar la buena seguridad de la construcción.
Aplicación de la fotogrametría con drones al control deformacional de estructuras y terreno	España	2014	Los componentes de un sistema para una aplicación fotogramétrica deben ser: una cámara, un sistema global de navegación por satélite y una unidad de medición inercial. La función de estos tres

			componentes se junta para obtener datos sobre el terreno según se necesiten.
Active landslide monitoring using remote sensing data, GPS measurements and cameras on board UAV	Grecia	2015	Los drones que comenzaron como juguetes costosos, se han convertido actualmente en una herramienta muy valiosa en el monitoreo de teledetección de áreas pequeñas.
Unmanned aerial vehicles (UAVs) for inspection in construction and building industry	Egipto	2018	Los drones tienen la capacidad de proporcionar información mediante monitoreo, mapeo en 3D, medición, análisis, grabaciones en sitio. Este documento presenta el estado del arte del uso de UAVs en la industria de la construcción y edificación, y evalúa sus aplicaciones mediante estudios de casos experimentales.
Applications of Drones in Infrastructures: Challenges and Opportunities	USA	2019	Que son los drones y como su incursión en la ingeniería puede llegar a tener alcances muy grandes y significativos para esta industria.
Inspecting Buildings Using Drones and Computer Vision: A Machine Learning	Australia	2021	Las tecnologías de inspección han venido avanzando dando campo al uno de los drones, en este artículo se evalúa como un dron entra a

Approach to Detect Cracks and Damages	participar en la detección de daños en las estructuras.
--	---

5. Síntesis de la información internacional de drones para el monitoreo de taludes

La ventaja de tienen los drones es que son unos aparatos muy versátiles y con los avances de la tecnología esa versatilidad se ha ido incrementando adentrándolos en casi todos los campos de estudio, en este caso, en el campo de la ingeniería civil, los drones se utilizan para obtener fotografías aéreas, un trabajo que anteriormente lo hacía una persona o si se tenía un presupuesto grande se podía hacer con aeronaves tripuladas, los drones hacen que la toma de fotografías se convierta en una labor un poco más simple y que se pueda abarcar grandes extensiones de tierra, los drones sumados con los adelantos en la fotogrametría digital sirven para recolectar y procesar datos cartográficos, geométricos, en 3D y geográficos, que se obtienen de las fotografías e imágenes que un dron es capaz de captar.

Todos estos adelantos y avances se encaminan a brindar respuesta a problemáticas que se presentaban en zonas de difícil acceso o en construcciones con bajo presupuesto. El estudio y análisis de las imágenes que capta un dron permite convertir estas imágenes en herramientas que pueden incluso prevenir catástrofes dando repuesta optima y puntual de problemas constructivos, problemas con diseños o cambios en la superficie o estructura de un lugar específico.

El monitoreo de taludes o laderas inestables o que tienen o riesgo geológico es un tema en la ingeniería civil que es muy importante de estudiar. El hacer un control y un seguimiento a los taludes se convierte en una necesidad para poner a salvo vidas y para no presentar pérdidas monetarias en los proyectos. La mayoría de los proyectos de infraestructura demandan de metodologías de inspección, pero siempre respetando un presupuesto limitado, lo cual implica

que la toma de fotografías de la estructura se haga con un bajo presupuesto y para esto se necesitan personal, equipos de recolección de fotografías y vías de fácil acceso para el personal mencionado. Los drones como un apoyo a ingeniería civil entran a facilitar los problemas mencionados anteriormente ya que tienen una capacidad de tomar las imágenes aéreas del lugar que se necesitan en una alta resolución, imágenes que van a ser procesadas, analizadas, estudiadas y posicionadas en el terreno con ayuda de observaciones satelitales, con los datos e imágenes que ahora se tienen entran los modelos digitales los cuales pueden ser creados para comprobar el comportamiento de un talud en diferentes intervalos de tiempo y con todos estos datos que ya se obtuvieron se puede hacer relación con los desplazamientos y obtener características geomorfológicas del talud.

El desarrollo de los UAV o drones ha aumentado considerable el número de soluciones técnicas que se pueden utilizar para monitorear los efectos de los peligros naturales. Los UAV o drones son, casi en la mayoría de los casos, más económicos y versátiles que las técnicas de tradicionales de recolección de datos y teledetección, esto los hace una buena alternativa para obtener imágenes y datos cuando se presenta un evento de amenaza.

Entre las ventajas que tiene un dron por encima de los métodos normales para la toma de imágenes menciona:

- La capacidad para acceder a ubicaciones remotas.
- La captura de imágenes de alta resolución.
- La capacidad de volar a bajas latitudes.
- La capacidad de no solo tener cámaras si no también sensores de navegación y escáner laser.
- La versatilidad para ser utilizados a proyectos de pequeña, mediana y gran escala.

Según los componentes de un sistema para una aplicación fotogramétrica deben ser: una cámara, un sistema global de navegación por satélite y una unidad de medición inercial). La función de estos tres componentes se junta para obtener datos sobre el terreno según se necesiten. La cámara se encarga de tomar imágenes superpuestas, estas imágenes se procesan para obtener un modelo digital de superficie o un modelo en 3D completo, el sistema global de navegación por satélite permite georreferenciar los datos. Existen muchos métodos para monitorear un talud, desde mediciones geotécnicas con inclinómetros hasta la utilización de drones, según las ventajas y desventajas de cada método van a depender del propósito para el cual se estén utilizando. El método de interés para este texto es el método de captura de imágenes a través de drones, este método se ha vuelto posible gracias a desarrollos tecnológicos de cámaras livianas, GNSS en miniatura, piloto automático y el desarrollo de metodologías de procesamiento.

Los drones equipados con sensores sofisticados, sistema de posicionamiento global y cámaras, tiene la capacidad de capturar datos en tiempo real, generar modelos 3D y conducir inspecciones remotas. Para los drones tienen un impacto en cada una de las fases de un proyecto de ingeniería que generan diferentes tipos de beneficios.

Utilizando diferentes tipos de drones, los proyectos de ingeniería pueden mejorar la fluidez, la coordinación del proyecto y reducir los riesgos presentes en todas las construcciones; drones equipados con cámaras de alta resolución, sistema LiDAR y sensores, facilitan el mapeo preciso, el análisis topográfico y la planificación del sitio de construcción. Los drones de supervivencia capturan imágenes aéreas detalladas y generan modelos 3D completos y precisos, lo que permite a los ingenieros tomar decisiones informadas sobre la ubicación, diseño, optimización y utilización de recursos. Los drones de inspección ofrecen ventajas a la hora de evaluar zonas de difícil acceso o peligrosas en obras de construcción. Estos drones equipados

con cámaras térmicas, sistemas de imágenes de alta resolución e incluso inteligencia artificial permiten inspecciones precisas de infraestructura, edificios y equipos. Pueden también rápidamente identificar defectos estructurales, monitorear la calidad de la construcción y garantizar el cumplimiento de las normas de seguridad, los drones de inspección dan a la obra ventajas como: mejorar la transparencia del proyecto, menos requisitos de mano de obra y mejores resultados generales del proyecto.

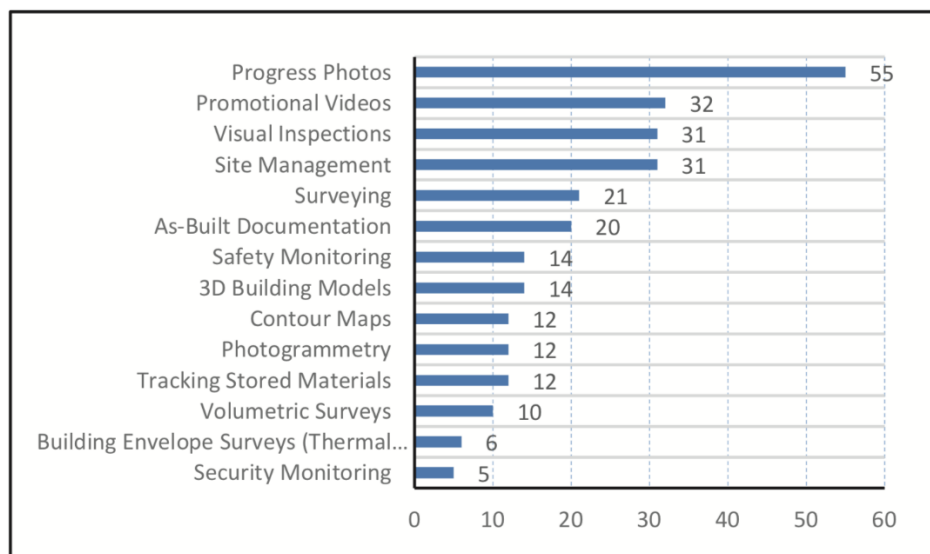
Avanzando de las fases de diseño y construcción, los drones siguen teniendo un gran impacto en la fase de mantenimiento. Las inspecciones periódicas con drones permiten una planificación afectiva del mantenimiento, los drones identifican problemas potenciales desde el principio y evitan aumento de costos y posibles daños a la estructura. Los drones, al realizar evaluaciones detalladas de edificios, puentes e infraestructuras, contribuyen de manera positiva a vida útil y calidad de la estructura. Además, la integración de drones en la fase de mantenimiento del proyecto permite la rápida identificación de defectos y pronta respuesta en reparaciones, lo que lleva a mayor seguridad y menor tiempo de inactividad.

La utilización de drones en la industria de la construcción representa un avance de la ingeniería civil a niveles más altos de eficiencia, seguridad y sostenibilidad. Si las capacidades de obtención de datos, monitoreo e inspección de los drones son bien aprovechadas, los ingenieros pueden tomar mejores decisiones, mejorar los resultados del proyecto y optimizar la utilización de recursos. A medida que la tecnología de drones continúa evolucionando, se espera que juegue un papel cada vez más importante en la transformación de la industria de la construcción, fomentando la innovación y promoviendo la innovación con prácticas de construcción inteligentes.

En el estudio realizado en Estados Unidos se muestra a base de encuestas como los drones están siendo usados en los proyectos de construcción y se pudo evidenciar que la toma de fotos de progreso y la toma de videos promocionales son las dos formas como más se están utilizando los drones. En la siguiente imagen se muestran los resultados que arrojó esa encuesta.

Figura 10

Resultado de encuesta de aplicación de drones en la construcción



En esta parte del artículo lo que se quiere es estudiar cómo se utilizan los drones para el monitoreo y para la fase de mantenimiento de un proyecto de construcción tierras fuera de Colombia. El monitoreo de seguridad utilizando drones durante la fase de construcción ha surgido como una herramienta valiosa para mejorar las prácticas de seguridad y mitigar posibles peligros. Los drones equipados con cámaras avanzadas, sensores y capacidades de procesamiento de datos ofrecen varios beneficios para el monitoreo de seguridad en la construcción.

Al capturar imágenes y videos de alta resolución, los drones pueden identificar condiciones inseguras como estructuras inestables, escombros, fallas en equipos o uso incorrecto de equipos de protección personal. La perspectiva aérea permite a los inspectores evaluar la seguridad general del sitio, identificar riesgos potenciales y tomar las medidas preventivas necesarias. Como ejemplo para esta investigación se presenta un estudio del uso de un dron en el monitoreo de seguridad en un proyecto de construcción de un edificio de gran altura en Santiago, Chile. Lo que tiene que hacer el dron es capturar imágenes y videos de la construcción (en este caso el edificio) y siguiente a eso se entrar a analizar las imágenes y los videos para ver si se está presentando alguna falla en la construcción. A partir del estudio, fue posible identificar problemas de seguridad utilizando imágenes de drones como se muestra en la figura, como la falta de barandas de protección y trabajadores sin cuerda de seguridad.

En caso de una emergencia o incidente en un sitio de construcción, los drones pueden proporcionar rápidamente conciencia situacional en tiempo real. Al capturar transmisiones de video en vivo e imágenes aéreas, los drones ayudan a los equipos de respuesta de emergencia a evaluar la situación, identificar puntos de acceso y planificar operaciones de rescate. Los drones equipados con cámaras térmicas pueden ayudar a localizar personas desaparecidas o puntos calientes en incidentes de incendio. Esta información en tiempo real ayuda a agilizar los esfuerzos de respuesta de emergencia, asegurando la seguridad del personal en el lugar.

Los drones pueden mejorar la seguridad del sitio al proporcionar capacidades de vigilancia. Los drones equipados con cámaras y sensores pueden monitorear el perímetro del sitio de construcción y detectar accesos no autorizados. Las transmisiones de video en vivo y las imágenes grabadas pueden ser utilizadas para investigaciones, mejorando la seguridad del sitio y protegiendo los valiosos activos de construcción.

6. Planteamiento de metodología para el uso de aeronaves no tripuladas en Colombia

Después de la revisión bibliográfica, para cumplir el objetivo número tres de los objetivos específicos: Proponer una metodología aplicada para el uso de aeronaves no tripuladas para el monitoreo y control de taludes inestables en Colombia, lo que se quiere hacer es sintetizar por medio de una cartilla un paso a paso o una metodología general sobre cómo se pueden utilizar los drones en Colombia, teniendo en cuenta normas, recomendaciones y prohibiciones.

Figura 11

Propuesta de metodología aplicada



6.1. Parte 1: Selección del dron

Características de un dron:

Estabilidad y control

La estabilidad de un dron es necesaria para asegurar la obtención de imágenes nítidas y obtención de datos precisos del terreno, para esto los drones deben contar con sensores de vuelo avanzados y tecnologías de estabilización

Resolución de la cámara

Las cámaras de los drones que se utilizan para ingeniería civil deben tener una alta resolución para poder captar imágenes detalladas del terreno de estudio, una cámara de alta resolución es necesaria para obtener imágenes nítidas y detalladas del terreno, la cámara de alta resolución va a permitir la identificación de características geográficas. Un dron para topografía/ingeniería civil debe tener una cámara de mínimo 20 MPX.

Sensores de alta precisión

Los drones utilizados en la ingeniería civil deben estar equipados con sensores de altura, sensores de temperatura, sensores de humedad, etc., para que los datos tomados por estos sensores sean precisos y óptimos para el estudio deben ser sensores de alta precisión.

Autonomía

La autonomía de un dron es una variable importante a la hora de hacer una elección, esta va a determinar cuánto tiempo puede volar el dron antes de regresar a la base a recargar su batería, es importante seleccionar un dron que tenga un tiempo de vuelo prolongado para cubrir áreas grandes de terreno si así el proyecto lo requiere.

Resistencia a condiciones climáticas

Los drones utilizados para la ingeniería civil deben tener la capacidad de volar en condiciones de humedad, sol directo, lluvia y viento (que son los climas predominantes en Colombia) para esto, los drones, deben estar diseñados con materiales resistentes y tecnología que les permita tener estabilidad en estas condiciones.

Incorporación de software

Los drones utilizados para la ingeniería civil deben venir equipados con software de procesamiento que permita procesar y analizar todos los datos que recopilan por medio de la cámara y de los sensores.

6.2. Parte 2: Reglamento colombiano

En esta parte de la metodología se entra hablar de la aeronáutica civil que es la entidad que nos va a dar la normativa de las aeronaves no tripuladas en Colombia, la RAC 100 es la normativa vigente en la cual se pueden consultar, prohibiciones, recomendaciones, normas, características y más cosas sobre los drones, sobre los pilotos y sobre la clase de tarea para que cual un dron este destinada.

6.3. Parte 3: Cómo programar el vuelo del dron, software a utilizar y datos de entrada

En esta parte ya nos adentramos un poco en cómo funciona el dron, como con apoyo de un software y de datos como altitud y velocidad se puede programar el vuelo del dron, para esta parte hay que tener muy presente todas las características del terreno y todos los obstáculos que se pueden presentar, pero con una investigación y programación el dron puede hacer sus vuelos y recolectar los datos necesarios sobre el talud.

6.4. Parte 4: Cómo se procesan los datos que arroja el dron

Para la parte 4 lo que se quiere es entrar a hablar un poco sobre los softwares que se necesitan para procesar los datos que capta un dron o sea las imágenes, con diferentes tipos de softwares y con un equipo apto se pueden procesar estas imágenes y obtener resultados como: nubes de puntos, orto mapas, curvas de nivel, mapas en 3D, entre otros.

6.5. Parte 5: Análisis de los datos arrojados

Teniendo las imágenes ya procesadas y los mapas creados en esta última parte se va a entrar a analizar cómo cambia un talud en una línea de tiempo, teniendo en cuenta deformaciones o grietas que antes no estaban y con todo este análisis se va a entrar a tomar decisiones sobre como se debe proceder para la estabilización del mismo talud. La cartilla planteada con todos los ítems mayor explicados se encuentra en el apendice C.

CONCLUSIONES

De acuerdo con la revisión bibliográfica que se recopiló en este artículo se puede evidenciar que los países España, Australia y Estados Unidos son algunos de los países líderes en el uso de drones para la ingeniería civil, sus mayores publicaciones se presentan del año 2018 en adelante.

La consulta bibliográfica realizada en este artículo evidencia que los métodos tradicionales topográficos y de inspección de talud están siendo reemplazados por nuevas tecnologías, como los drones, lo que se traducirá en mayor eficiencia del proyecto, reducción de costos y menor inseguridad de los trabajadores. La inclusión de los drones en la ingeniería civil ha facilitado las tareas de control y monitoreo al ser más precisos, hacer su trabajo en un menor tiempo e incluso predecir y corregir errores.

En el caso específico de Colombia la nueva tecnología de drones puede proporcionar una solución a diferentes problemáticas que surgen a partir de los tipos de terreno que se tiene en Colombia, una de las mayores ventajas que trae esta tecnología a Colombia es la facilidad de acceso a lugares con pendiente muy alta o lugares donde simplemente la vida del inspector corre peligro.

De acuerdo con la información recopilada se mencionan drones como los DJI y los Parrot son los más utilizados para esta tarea. La marca líder en el mercado junto a software de vuelo y de procesamiento es DJI, y se utiliza en el avance de la construcción del metro de Bogotá. Implementar los drones es una inversión significativa y una tarea de acoplamiento grande para Colombia porque aparte del dinero, se necesita una capacitación para volar, tomar imágenes y procesarlas, pero todo esto en conjunto va a traer más ventajas a largo plazo.

El uso de los drones debe ser tratado con profesionalismo y precaución porque la base de un buen proyecto y una buena ejecución es la correcta planificación. Para evidenciar la metodología aplicada cuyo objetivo era este artículo de investigación se anexa en este documento una cartilla con un paso a paso general de elegir un dron, necesario para su uso en Colombia y como con el dron poder obtener datos importantes para monitorear y controlar taludes inestables (Apendice C).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATyges (2014) Drones para el uso Civil Profesional, fotogrametría en minutos. Geofumadas.

<http://www.geofumadas.com/drones-para-el-uso-civil-profesional-fotogrametria-en-minutos/>

Alizadeh, M., Ngah, I., Hashim, M., Pradhan, B., y Beiranvand, A. (2018). A hybrid analytic network process and artificial neural network (ANP-ANN) Model for Urban Earthquake

Vulnerability Assessment. *Remote sensing*, 10 (6) <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/6/975>

Ágreda, A. P. (2005). Estabilidad de Taludes. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya. Simposio suramericano de deslizamientos: proceedings of a conference held at Paipa, Colombia, Agosto 7 - 10, 1989. (1989). Colombia: The Society.

ASPRS – IMAGING AND GEOSPATIAL SOCIETY. (s. f.). <https://www.asprs.org/>

Ávila, R. & Franco, A. (2018). Comparación técnica y económica del monitoreo de taludes o laderas inestables en el municipio de Zetaquirá – Boyacá mediante técnicas tradicionales de topografía y técnica moderna de drones. [Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada] <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/du.co/bitstream/handle/10654/21369/le/10654/21369/>

Casagrande, A. (1936). Characteristics of cohesionless soils affecting the stability of slopes and Farth Sills. Contributions to Soils Mechanics, 1925-1940. Society of Civil Engineers.

Catanzariti, F. (2017) Estabilidad de taludes, GeoStru. Página web. <https://www.geostru.eu/es/blog/2016/06/13/estabilidad-de-taludes/?lang=es>

Claros, R., Guevara, A., Pacas, N. (2016). Aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos mediante el uso de vehiculos aéreos no tripulados. [Trabajo de grado, Universidad de El Salvador] https://www.academia.edu/68861121/Aplicaci%C3%B3n_de_fotogrametr%C3%ADa_a%C3%A9rea_en_levantamientos_topogr%C3%A1ficos_mediante_el_uso_de_veh%C3%ADculos_a%C3%A9reos_no_tripulados

Cruden, D. (1991). A simple definition of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, (43), 27-29.

Cruden, D. y Varnes, J. (1996). Landslide Types and Processes. In Special Report 247 Landslides Investigation and Mitigation. Turner, A. K. and Schuster R. L. (eds.) TRBNRC, National Academy Press: Washington, 36-75.

Ellis, J., Guardado, R., y Sánchez, I. (2012). Deslizamientos, efectos y gestión del riesgo.

UNESCO <https://catalogobiam.minam.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=8906>

Giordan, A., Manconi, F., Remondino., y F. Nex (2017) Use of unmanned aerial vehicles in monitoring application and management of natural hazards. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8 (1), 1-4. DOI: 10.1080/19475705.2017.1315619

Goodman, R., Bray, J. (1976). Toppling of Rock Slopes. Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and Slopes.

<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1855336>

Hutchinson, J. N. 1988. General Report: Morphological and Geotechnical Parameters of Landslides in relation to Geology and Hydrogeology. En Bonnard, C. (eds.) 5th International Symposium on landslides, Balkema: Rotterdam.

Instituto Nacional de Vías (Invías). 1998. Manual de estabilidad de taludes. Invías: Bogotá.

Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química (INGEOMINAS). (2002). Clasificación regional de amenaza relativa de movimientos en masa en Colombia. INGEOMINAS, Subdirección de Amenazas Geo-ambientales: Bogotá.

International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. (s. f.). ISPRS. <https://www.isprs.org/default.aspx>.

IDC Drones. (S.f.). Fotogrametría con drones: Todo lo que debes saber.

<https://idc.apddrones.com/fotogrametria/fotogrametria-con-drones-todo-lo-que-debes-saber/>

Krynine, D., y Judd, W. (1980). Principles of Engineering Geology and Geotechnics. McGraw Hill: Nueva York, 1-730.

Lucieer, A; Turner, D., King, D., y Robinson, Sharon A. (2014) "Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to capture micro-topography of Antarctic moss beds". Faculty of Science, Medicine and Health - Papers: part A.

Montero, A., y González, A. (1982). Caracterización del material rocoso. I Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas. Sociedad Colombiana de Geotecnia: Bogotá.

Montero, J., y Cortés, R. (1989). Clasificación regional de amenaza de deslizamientos, vol.1. Primer Simposio Suramericano de Deslizamientos SCG-CSMM. Paipa, Colombia

Nikolakopoulos, K., y Apostolopoulos, D. (2020). Mapping the Panagopoula landslide extent fifty years after the event. Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2020). <https://doi.org/10.1117/12.2570813>

Ortega Cardenas, V. (2018). Procedimiento para la captura de datos fotogramétricos con la ayuda de aparatos controlados remotamente, como herramienta para la evaluación en estabilidad de taludes y difusión con realidad aumentada. [Tesis de posgrado, Universidad Nacional de Colombia] Repositorio Universidad Nacional de Colombia.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/68620>

Pizarro, N. (2017). Estudio del uso de fotogrametría en la detección de grietas y desplazamientos en suelos finos y arenas. [Trabajo de grado, Universidad de Chile] Repositorio Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/146343>

Schenk, T. (2005). Introduction to Photogrammetry.

<https://www.mat.uc.pt/~gil/downloads/IntroPhoto.pdf>

Radbruch-Hall, D. (1978). Gravitational creep of rock masses on slopes. Chap. 17 in rockslides and avalanches. B. Voight ed. Developments in Geotechnical Engineering 14A.607-657.

Valiente Sanz, R.; Sobrecases Martí, S.; Díaz Orrego, A. (2016). ESTABILIDAD TALUDES, CONCEPTOS BÁSICOS, PARÁMETROS DE DISEÑO Y MÉTODOS DE CÁLCULO. Revista Civilizate. (7):50-54. <http://hdl.handle.net/10251/76781>

Vanmarcke, E. (1977). "Reliability of earth slopes", ASCE, Journal of Geotechnical Engineering Division, vol. 103(11):1247-1265.

Varnes, D. J., 1958 Landslide Types and Processes, in Special Report 29: Landslides and Engineering Practice (E.B. Ecker, ed.) HBR, National Research Council, Washington D. C. pp 20-47.

Varnes, D. J., (1978). Slope Movement Types and Processes. En Special Report 1976: Landslides Analysis and control (R. L. Schuster and R. J. Krizec, eds). TRB-NRC Washington D. C. pp 11-33.

Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. Washington.

Vemulapalli, S., y Mesapam, S. (2021). Slope Stability Analysis for Mine Hazard Assessment Using UAV. J Indian Soc Remote Sens 49, 1483-1491.

<https://doi.org/10.1007/s12524-020-01239-9>

Walstra, J., Chandler, J. H., Dixon, N., & Dijkstra, T. A. (2007). Aerial photography and digital photogrammetry for landslide monitoring, 53-63.

Wieczorek, G., y Snyder, J. (2009). "Monitoring slope movements" en Young, R., y Norby, L. (eds.), *Geological Monitoring: Boulder, Colorado*, Geological Society of America (245-271) The Geological Society of America. <https://www.nps.gov/articles/monitoring-slope-movements.htm>

Zapata, O. (2003b). Fundamentos de fotogrametría para imágenes de contacto y digitales. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 327.
<http://www.bdigital.unal.edu.co/12562/6/70074527.2003.pdf>

Apéndices







Apéndice A. Bibliografía internacional encontrada

Título	País	Año de publicación	Descripción
Utilizing drone technology in the civil engineering	Eslovaquia	2019	Los drones entran a ser herramientas que aumentan la comunicación entre los participantes de la construcción, mejoran la seguridad en el sitio, utilizan mediciones topográficas de áreas grandes y, utilizando los principios de la fotogrametría, lo que ahorra tiempo, brinda seguridad y costos del proyecto.
Application of drones in the architecture, engineering, and construction (AEC) industry	China	2022	Investigación sobre la implementación de los drones en la ingeniería civil, siendo este el segundo mercado más grande de la venta de drones (2020). Este estudio muestra información de los diferentes tipos de drones que puede ser utilizados para la ingeniería civil.
The use of UAVs for civil engineering infrastructures	Italia	2021	Actualmente las tecnologías utilizadas para monitorear intervenciones o inspecciones son diversas, pero la mayoría de ellas son intrusivas y requieren la necesidad de operadores humanos certificados. Estos aspectos crean un riesgo significativo para la seguridad y un aumento en los costos, tanto en los pagos a los operadores como en el equipo necesario. Para solucionar estos problemas entran a jugar un papel importante los drones en la construcción.
Drone Use in the Construction Industry Leads to Integration into the Current Civil and Construction Engineering Technology Curriculum	USA	2019	Los drones se han venido utilizando en la ingeniería en aspectos como: seguridad, apoyo, inspección, tomas de medidas y modelamientos 3D. Lo que se trata en el artículo es una revisión de los drones y como se van poco a poco introduciendo estos cada uno de los proyectos de ingeniería.
Classification of Drones	Grecia	2017	El principal objetivo de este artículo es categorizar los drones dependiendo de la tarea específica que deben realizar, mostrando requerimientos mínimos y costos los cuales son un parámetro importante al momento de elegir un tipo de dron.
A view of the future: Drones in construction industry	Mewar	2019	Esta investigación da un panorama de los drones en la industria de la construcción, los usos que tiene actualmente, las leyes de la india para la regulación de los drones y el panorama que se tiene proyectado para el futuro.
Fotogrametría con drones, diferentes usos y aplicaciones en la agricultura de precisión	Ecuador	2022	Se hace una investigación sobre las diferentes tecnologías de la fotogrametría con drones apuntadas al sector agrícola para así poder destinar una tecnología especial a la rama de la agricultura que aporte beneficios a esta.
Fotogrametría terrestre con sistemas aéreos autónomos no tripulados	Costa rica	2018	La fotogrametría aérea es una técnica que permite estudiar diferentes zonas geográficas con el fin de extraer información que sea útil para un proyecto de construcción. Con el apoyo de los drones, la fotogrametría aérea trae muchos beneficios a la construcción.

Evaluación del costo y confiabilidad de fotogrametría con drones en obras de alcantarillado en centro poblado imperial Huancavelica	Perú	2021	Mediante una investigación a una obra de alcantarillado se evalúa el costo y la confiabilidad de la topografía tradicional y la topografía y fotogrametría con drones.
Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review	España	2013	Estado del arte sobre los drones aplicados a la fotogrametría. Fotogrametría moderna y sensores remotos van de la mano con un potencial muy grande sobre la ingeniería civil.
Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to capture micro-topography of Antarctic moss beds	Australia	2014	Con datos como: fotos, imágenes 3D y observaciones satelitales, se puede hacer relación con los desplazamientos y obtener características geomorfológicas del talud.
Use of unmanned aerial vehicles in monitoring application and management of natural hazards	Suiza	2017	Los drones suelen ser más económicos y versátiles que las técnicas tradicionales de teledetección, por lo que pueden considerarse una buena alternativa para la adquisición de imágenes y otros parámetros físicos antes, durante y después de un evento de riesgo natural.
Multipurpose UAV for search and rescue operations in mountain avalanche events	Italia	2015	Los drones tienen ventajas muy destacables sobre los métodos normales para la toma de imágenes y haciendo una buena elección se puede bajar los costos y aumentar la buena seguridad de la construcción.
Aplicación de la fotogrametría con drones al control deformacional de estructuras y terreno	España	2014	Los componentes de un sistema para una aplicación fotogramétrica deben ser: una cámara, un sistema global de navegación por satélite y una unidad de medición inercial. La función de estos tres componentes se junta para obtener datos sobre el terreno según se necesiten.
Active landslide monitoring using remote sensing data, GPS measurements and cameras on board UAV	Grecia	2015	Los drones que comenzaron como juguetes costosos, se han convertido actualmente en una herramienta muy valiosa en el monitoreo de teledetección de áreas pequeñas.
Unmanned aerial vehicles (UAVs) for inspection in construction and building industry	Egipto	2018	Los drones tienen la capacidad de proporcionar información mediante monitoreo, mapeo en 3D, medición, análisis, grabaciones en sitio. Este documento presenta el estado del arte del uso de UAVs en la industria de la construcción y edificación, y evalúa sus aplicaciones mediante estudios de casos experimentales.
Applications of Drones in Infrastructures: Challenges and Opportunities	USA	2019	Que son los drones y como su incursión en la ingeniería puede llegar a tener alcances muy grandes y significativos para esta industria.
Inspecting Buildings Using Drones and Computer Vision: A Machine Learning Approach to Detect Cracks and Damages	Australia	2021	Las tecnologías de inspección han venido avanzando, dando campo al uso de los drones, en este artículo se evalúa como un dron entra a participar en la detección de daños en las estructuras.

“Todos los apéndices están adjuntos”

Apéndice B. Variables para la elección de un dron para monitoreo de taludes

Nombre	Imagen	Cámara	Precisión	Batería (mAh)	Autonomía (min)	Peso (Kg)	Costo (\$)
DJI phantom 4 RTK		CMOS 20 MPX, obturadormecánico	RTK 1cm + 1ppm	5000	30	1.4	6600
DJI mavic 2 Pro		CMOS 20 MPX	GPS - GLONAAS 2m	3000	31	0.9	3000
Yunnec H520E RTK		CMOS 20 MPX, lente 23 mm	GPS - GLONASS 1.5m	5200	28	1.97	5000
SenseFly eBee X		SONY UMC-R10C 20.1 MPX	RKT 3cm	3700	90	1.1	11000
Autel Evo II PRO		CMOS 20 MPX	GPS Y GLONASS 1.5m	5100	40	1.4	2500
Parrot Anafi		CMOS 21 MPX	GPS Y GLONASS 1.6m	2700	32	0.4	7000

“Todos los apéndices están adjuntos”

Apéndice C. Cartilla

“Todos los apéndices están adjuntos”